

TDA 5G RURAL

Prova pilot sobre l'ús de la tecnologia 5G per la provisió de serveis sanitaris a l'entorn domiciliari al laboratori 5G de Terres de l'Ebre

DATA

Novembre 2023

Col·labora:

00

Contingut

01 Introducció	3
1.1 Tecnologies 5g	3
1.2 La 5G a Catalunya	7
1.2.1 Ritme del desplegament de la 5G a Catalunya	8
1.3 5G i Salut	8
02 Definició del projecte	10
2.1 Context de l'acord de col·laboració	10
2.2 Justificació	11
2.3 Objectius i abast	13
2.4 Metodologia de treball	14
03 Disseny d'aplicació de salut	16
3.1 Creació grups de treball	16
3.2 Disseny d'escenaris per als casos d'ús	16
3.3 Definició d'escenaris i subescenaris de treball	17
3.4 Disseny dels casos d'ús	23
04 Disseny de l'escenari tecnològic	25
4.1 Definició de la prova de concepte	25
4.2 Esquema de connectivitat	28
4.3 Proves en els diferents escenaris	29
4.4 Indicadors a destacar	33
05 Avaluació dels resultats	34
5.1 Resultats de l'escenari 1a + 1b	34
5.1.1 Resultats de la campanya de mesures 4G i 5G	34
5.1.2 Resultats rendiment xarxa privada WiFi	37
5.2 Resultats de l'escenari 2	38
5.3 Resultats del procés d'instal·lació i de configuració	40
06 Conclusions	42
Agraïments	44
Índex d'il·lustracions	45
Índex de taules	45

01

Introducció

La tecnologia 5G està transformant radicalment la forma en què vivim i treballem, amb una sèrie de beneficis significatius i amb un impacte en la forma en què ens connectem i comuniquem en l'era digital. Amb velocitats de connexió substancialment més ràpides, baixes latències i major capacitat de xarxa, la 5G s'ha convertit en un facilitador per la incorporació d'innovacions tecnològiques. A més a més de la seva eficiència energètica i el potencial per a millorar la connectivitat en zones rurals, la 5G es posiciona com un motor de creixement econòmic que promou l'expansió de serveis i aplicacions avançades.

El seu impacte s'estén més enllà de la connectivitat ràpida dels dispositius mòbils. En el camp de la salut, l'aplicació de la 5G té una gran rellevància. Disposar d'una tecnologia 5G ultra ràpida, de baixa latència i de molt alta fiabilitat permet impulsar innovacions disruptives amb l'objectiu de redefinir l'atenció mèdica i millorar la qualitat de vida de les persones a tot el món.

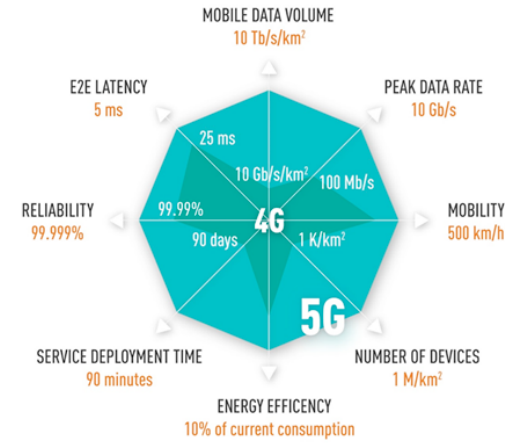
Des de la Secretaria de Telecomunicacions i Transformació Digital i la Fundació i2CAT s'està impulsant el projecte TDA 5G Rural. Un dels objectius d'aquest projecte és identificar casos d'ús que puguin contribuir al desplegament de la xarxa 5G en entorns rurals de Catalunya, a curt i mig termini i, alhora, posar la tecnologia al servei de la ciutadania. Una de les línies de treball és la implementació de la 5G a l'entorn de salut, en la qual s'ha comptat amb la col·laboració de la Fundació TIC Salut Social.

En aquest document s'estudia com la tecnologia 5G permet transformar la salut en l'àmbit de la telemedicina avançada i l'atenció personalitzada que possibilita "la Internet de les Coses", mostrant com aquesta revolucionària tecnologia està aplanant el camí cap a un futur amb una atenció mèdica més eficient, accessible i efectiva per a tothom.

1.1 Tecnologies 5g

La tecnologia 5G, abreviatura de "cinquena generació", és la darrera evolució de les tecnologies de comunicació mòbil. Aquesta, fa referència a la cinquena generació d'estàndards i tecnologies de xarxes sense fils, successora de la 4G (LTE) i la 3G (UMTS).

Més que una evolució, la tecnologia 5G representa una revolució respecte a la 4G i sistemes anteriors. La Il·lustració 1 mostra els valors dels principals indicadors de rendiment clau (*Key Performance Indicator – KPI*) de la tecnologia 5G respecte a la 4G. Com es pot observar, la 5G és molt superior a la 4G en tots ells.

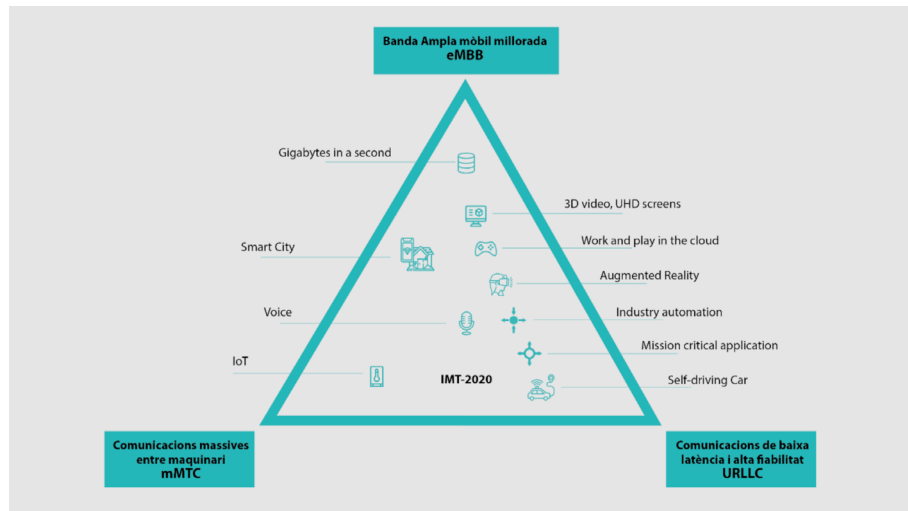


Il·lustració 1: Els principals indicadors de rendiment clau (KPI) de les xarxes cel·lulars són molt superiors amb la 5G que amb la 4G

Amb la 5G, per primera vegada, la xarxa s'adapta a les necessitats de l'usuari, ja sigui una persona física o una empresa. Abans de la 5G, la xarxa era fonamentalment la mateixa per a qualsevol usuari o servei. Ara en canvi, es poden gestionar les configuracions dels diferents segments lògics de la 5G, per exemple l'accés a la ràdio per part dels dispositius dels usuaris, el core de la 5G que gestiona els usuaris, la lògica de la xarxa 5G, etc. Aquests segments es poden optimitzar per certs tipus de serveis o usuaris; ajustant els paràmetres de configuració com, per exemple, donar prioritat a una baixa latència enlloc d'un gran ample de banda. En el disseny de les xarxes IMT-2020, que és com la Unió Internacional de Telecomunicacions (ITU) es refereix a les noves generacions de tecnologies sense fil, es van identificar 3 tipus de serveis o casos d'ús base als quals la 5G hauria de donar suport:

- Banda Ampla mòbil millorada (*enhanced Mobile BroadBand – eMBB*).
- Comunicacions de baixa latència i alta fiabilitat (*Ultra Reliable and Low Latency Communications – URLLC*).
- Comunicacions massives entre maquinària (*massive Machine-Type Communications – mMTC*).

En la Il·lustració 2 es mostren aquests tres serveis (eMBB, URLLC i mMTC) en els vèrtexs d'un triangle. Aquests serveis representen els màxims requeriments d'ample de banda, latència i nombre de dispositius, respectivament. Dins d'aquest triangle es mostren exemples d'aplicacions posicionats en funció dels seus requeriments:



Il·lustració 2: Casos d'ús elementals de la 5G

Una de les característiques o funcionalitats que habilita la 5G és la virtualització. Per una banda, la virtualització permet desplegar qualsevol element lògic de la xarxa en qualsevol tipus de servidor que compleixi els requeriments mínims de computació. Cal destacar que no necessàriament ha de ser equipament específic subministrat per algun dels fabricants clàssics de telefonia cel·lular. Per altra banda, certs mòduls de la xarxa 5G poden ser subministrats des dels *data centers* dels operadors de xarxa mòbils, (*Mobile Network Operator – MNO*) i desplegar-se de forma dinàmica més a prop dels usuaris. Aquesta característica és molt interessant, ja que, permet establir serveis molt a prop dels usuaris per tal de reduir la latència en les comunicacions i descongestionar la xarxa troncal. Aquí, l'*edge computing* juga un paper important, apropant la computació i l'emmagatzematge de dades als usuaris que consumeixen els serveis desplegats a l'*edge*. D'aquesta manera s'obté una millora del temps de resposta i un estalvi en l'ample de banda.

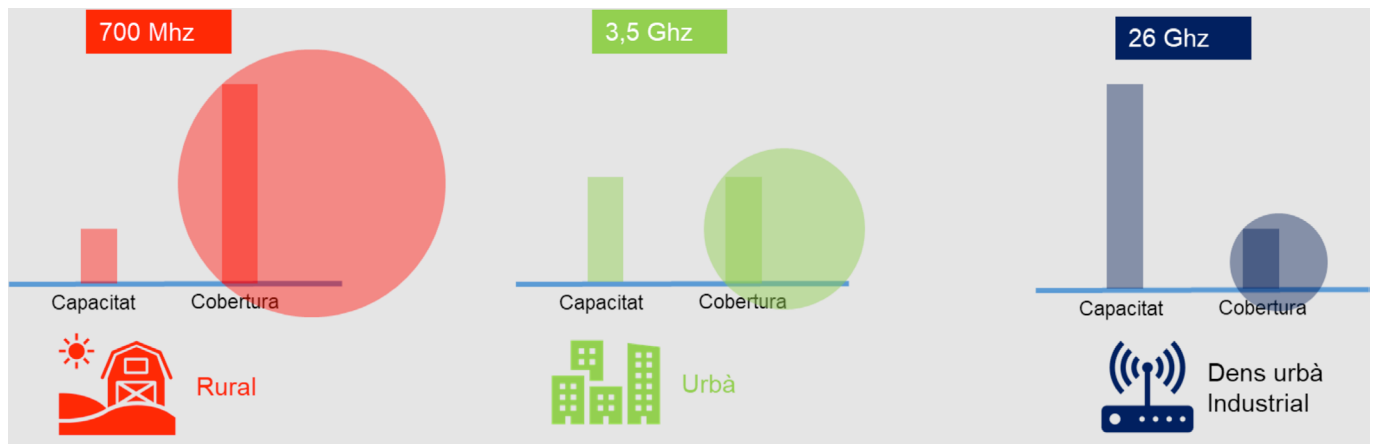
La tecnologia d'accés a ràdio de la 5G, anomenada Nova Ràdio (*New Radio – NR*), ha incorporat millores importants respecte la 4G. Entre elles, noves bandes de freqüències a l'estàndard 5G, les quals es poden classificar com bandes baixes, mitjanes o altes.

Les altes freqüències representen la major novetat, ja que mai s'han emprat freqüències amb longituds d'ona mil·limètriques per a la transmissió de senyals de ràdio. Aquests amplituds de banda, ubicats en les bandes de 24 o 26 GHz, tenen la capacitat d'oferir canals de transmissió amb freqüències de fins a 1 GHz, fet que habilita una alta capacitat per a la transmissió de grans quantitats de dades en poc temps. Per contra, el senyal és molt sensible a obstacles i només ofereix uns pocs centenars de metres de radi de cobertura.

Respecte la banda de baixes freqüències (700 MHz), aquesta té millors característiques de transmissió respecte les altes freqüències, ja que pot cobrir molts quilòmetres i pot penetrar millor dins dels edificis. Tanmateix, té com a principal problemàtica que l'ample de banda disponible és més petit i, en conseqüència, la velocitat en la transmissió de dades és inferior respecte les altes freqüències.

Per últim, l'ample de banda de mitjanes freqüències presenta un equilibri entre cobertura i capacitat de transmissió (3,5 GHz). Aquesta banda habilita un radi de cobertura d'entre uns centenars de metres i un parell de quilòmetres.

Per tant, la cobertura d'una estació base està principalment limitada per la seva freqüència. A baixes freqüències, el senyal es degrada menys i pot arribar més lluny. Per contra, a major freqüència, l'àrea de cobertura és menor. Per això, dins la 5G es contemplen les mides de cel·les, que es mostren en la Il·lustració 3.



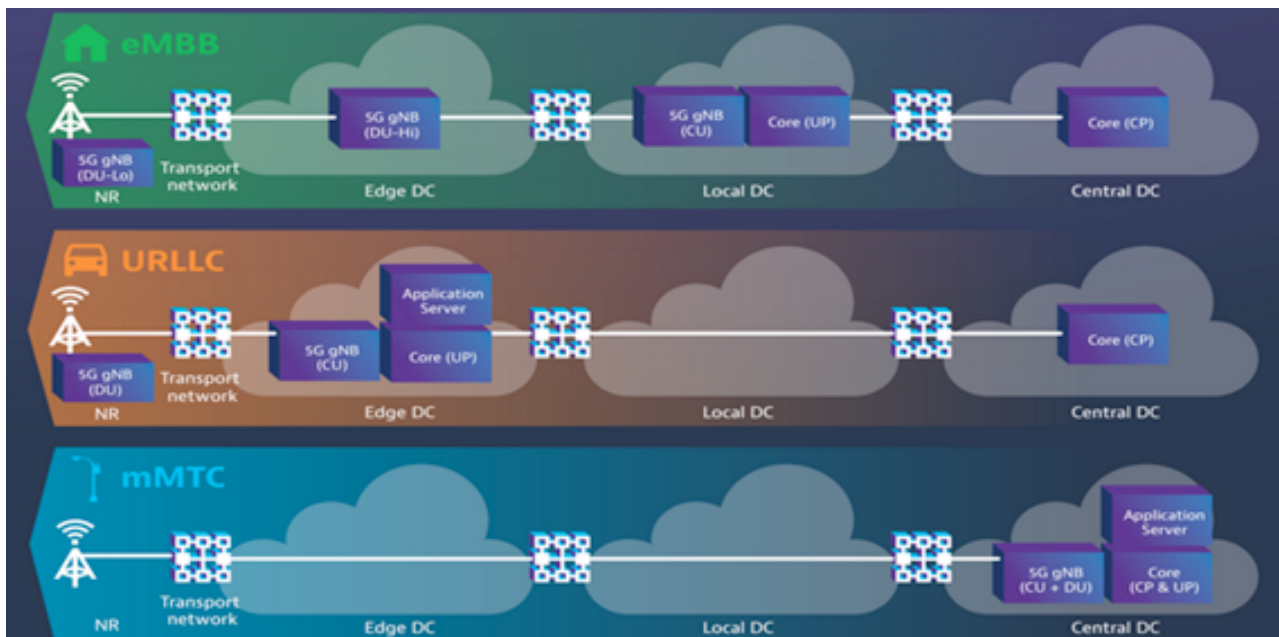
Il·lustració 3: Diferents àmbits necessiten diferents freqüències i proporcionen diferents àrees de cobertura i capacitat

En primer lloc hi ha les cel·les macro, amb radis de cobertura de fins a dotze quilòmetres i amb capacitat reduïda, que utilitzen freqüències per sota d'1 GHz, i són la norma en l'àmbit rural. A l'entorn urbà s'utilitzen cel·les macro o micro, amb radis de cobertura d'uns pocs quilòmetres i amb freqüències d'entre 3 i 4 GHz. Aquestes presenten una major capacitat atès que utilitzen un major ample de banda (fins a 100 MHz). Finalment, hi ha cel·les petites (*small cells*) de molt alta freqüència i poca cobertura, d'uns centenars de metres com a màxim, amb capacitats molt superiors i amplex de banda deu vegades més grans que la resta, d'aproximadament 1 GHz.

Les noves tècniques de transmissió i recepció amb moltes antenes *massive MIMO* (*Multiple Input Multiple Output*) han permès poder millorar la cobertura a la 5G, i són especialment rellevants quan s'utilitzen les freqüències més altes. Aquestes, permeten tenir un senyal més robust en freqüències superiors. Això és degut a la possibilitat de fer *beamforming*, és a dir, dirigir l'energia dels senyals cap a la localització del receptor, usuari o estació base, com si fos un feix (*beam*). A més a més, si el canal ho permet, es pot fer un *beamforming* simultani a molts usuaris, permetent augmentar la capacitat de la cel·la.

Gràcies a la capacitat de virtualització de la 5G aquesta incorpora la capacitat de fer el slicing. Aquest, concepte consisteix en la creació de xarxes lògiques virtuals sobre la infraestructura física de la xarxa 5G. Les slices són independents entre elles i es crea una slice per a un sol tipus de servei, usuari o d'empresa. La Il·lustració 4 mostra l'slicing per als tres grans casos d'ús de la 5G:

- A la part superior es mostra l'*slice* eMBB, per a serveis amb un gran ample de banda. Per aquest motiu, la gestió dels usuaris es fa a través de servidors distribuïts en el territori (*local DC*) a través dels quals, es realitza la connexió a Internet. Aquest disseny, permet no congestionar els *datacenters* dels operadors de xarxa (*Central DC*).
- Al centre es mostra l'*slice* URLLC, per a serveis crítics amb poca latència. Com es pot veure, quasi tota la gestió es fa a través de l'*Edge Compute*, per tal de reduir la latència al mínim possible. Igualment, possibles aplicacions com els serveis i els algorismes de comunicació entre vehicles (*Vehicle-to-Everything – V2X*), es desplegarien a través de *Edge Compute*.
- A la part inferior es mostra l'*slice* mMTC. Aquesta slice no té cap requeriment estricte de latència o ample de banda. Per això, la xarxa es pot desplegar al *data centre* de l'operador sense que el servei pateixi penalitzacions.



Il·lustració 4: La virtualització permet desplegar components de la xarxa més o menys a prop de l'usuari en funció dels requisits del tipus de servei

1.2 La 5G a Catalunya

A Catalunya hi ha quatre operadors principals amb espectre de freqüència i desplegament d'equipament propi (Movistar, Vodafone, Orange i MasMóvil), i una sèrie d'operadors virtuals que usen la xarxa d'algun d'aquests quatre principals.

Aproximadament, des de fa uns 25 anys, els operadors amb espectre propi han realitzat un important desplegament d'antenes de telefonia mòbil al territori, amb les diferents tecnologies associades a les diferents generacions de comunicacions mòbils 3G i 4G. Cada adquisició d'espectre de freqüències per desplegar serveis de telefonia mòbil implica generalment unes obligacions de desplegament d'antenes per part dels operadors en un temps concret. Així, en general, els operadors comencen, en unes primeres fases, a desplegar antenes a les zones més urbanes i a les principals vies de comunicació. Posteriorment, realitzen el desplegament a zones

menys urbanes i, finalment, a zones més rurals. Actualment, la cobertura de la suma de 3G i 4G a Catalunya arriba fins al 91,1% del territori i al 99,7% de la població.

1.2.1 Ritme del desplegament de la 5G a Catalunya

La tecnologia 5G es va començar a desplegar a Catalunya de forma puntual l'any 2018, en alguns punts de Barcelona i l'àrea metropolitana. El desplegament de 5G utilitzava la banda de freqüències de 3,4-3,8GHz i la compra d'aquestes freqüències no tenia associades obligacions de desplegament per part dels operadors. En aquell moment es tenia prevista la licitació de la banda de freqüència de 700MHz, amb obligacions de desplegament associades, però sense data prevista per a la licitació.

Finalment, la licitació de la banda de 700MHz es va realitzar el juliol de 2021 i ja a finals de 2021, es van començar a realitzar els primers desplegaments importants de 5G en la banda de 700MHz.

A finals de 2022 es va licitar la banda de freqüències de 26GHz, les anomenades mil·limètriques, les quals s'usaran especialment en espais molt densament urbans i/o amb molta concentració d'usuaris.

A l'octubre de 2023, s'han presentat uns importants ajuts *Next Generation* per subvencionar el desplegament de la 5G a municipis de menys de 10.000 habitants, amb els quals es preveu poder impulsar el desplegament de la 5G en entorns rurals.

Actualment el desplegament de la 5G és majoritàriament NSA (*non standalone*), és a dir, que necessita del desplegament previ de 4G pel seu funcionament. Es preveu que a finals de 2023 el desplegament NSA passi a ser SA (*standalone*), és a dir, ja desvinculat de la 4G, fet que implicarà millores en les funcionalitats de la 5G. La banda de 700MHz és molt interessant per a desplegaments rurals, per la seva bona propagació en exteriors i és també interessant per entorns rurals i urbans per la seva capacitat de penetrar edificis. La banda de 3,4-3,8GHz té menys capacitat de propagació que l'anterior, però aporta més ample de banda i, finalment, la banda de 26GHz té poca propagació i un gran ample de banda.

Després de gairebé 2 anys de desplegament de la 5G en la banda de 700MHz i també en la banda de 3,4-3,8GHz, el desplegament està essent molt significatiu i es preveu que, a finals de 2025, més del 70% de la població tingui cobertura de 5G.

1.3 5G i Salut

El desplegament i l'ús de la tecnologia mòbil en el sector de la salut té el potencial d'oferir una sèrie de beneficis significatius que poden millorar l'atenció mèdica, la telemedicina i la gestió de la salut.

L'ús de la 5G habilita unes capacitats tècniques que ofereixen una major velocitat, menor latència i capacitat de gestionar molts més dispositius ampliant, per tant, la usabilitat de la tecnologia

mòbil en el camp de salut en diferents àmbits, com:

- **Telemedicina avançada**, permetent consultes mèdiques en línia d'alta qualitat amb una experiència més fluida i sense interrupcions. Els metges poden interactuar amb els pacients a través de videoconferències d'alta definició i accedir a imatges mèdiques, informes i registres de salut de manera eficient.
- **Incorporació d'innovació tecnològica en els processos assistencials**, ampliant i facilitant l'accés a l'oferta d'aplicacions i dispositius mèdics avançats, ulleres de realitat virtual per a la rehabilitació i serveis al núvol.
- **Transmissió d'imatges mèdiques d'alta resolució**: Les imatges mèdiques requereixen una gran quantitat de dades i una alta resolució. La 5G permet la transmissió ràpida d'aquestes imatges en temps real, la qual cosa és essencial per al diagnòstic i la presa de decisions mèdiques precises.
- **IoT per a monitoratge de pacients**: La tecnologia 5G pot habilitar una xarxa de dispositius mèdics connectats a la Internet de les coses (IoT) per al monitoratge de pacients. Això facilita el seguiment continu de la salut dels pacients, la detecció precoç de problemes mèdics i la millora del procés assistencial.
- **Robòtica mèdica avançada**: La baixa latència i l'alta velocitat de la 5G són essencials per a la cirurgia assistida per robots i altres procediments quirúrgics remots. Els cirurgians poden controlar a distància robots quirúrgics amb precisió i en temps real.

Amb l'ús de la 5G es poden reduir els costos associats a l'atenció mèdica, especialment en àrees rurals o remotes, on l'accés als serveis sanitaris pot ser limitat. Els pacients i els professionals poden interactuar en diferents episodis de l'atenció mèdica sense haver de desplaçar-se, podent obtenir informació en temps real.

02

Definició del projecte

2.1 Context de l'acord de col·laboració

Des de la Secretaria de Telecomunicacions i Transformació Digital (d'ara endavant STTD) i la Fundació i2CAT (d'ara endavant i2CAT) s'està impulsant el projecte del TDA 5G Rural. Els principals objectius d'aquest projecte són la reducció de l'escletxa digital en l'àmbit rural, ajudar a garantir un desplegament de la 5G en el menor termini possible, complementar els desplegaments de xarxa 3G i 4G per dinamitzar el teixit industrial i millorar els serveis a la ciutadania.

Una de les línies de treball del projecte és la definició de diferents casos d'ús en col·laboració amb altres entitats i empreses. Casos d'ús orientats a millorar la qualitat de vida de les persones, especialment d'aquelles que viuen en zones rurals de Catalunya.

Des de la STTD i i2CAT es considera que el sector salut dibuixa un entorn estratègic per dur a terme el desplegament de la 5G. Per al correcte desenvolupament del projecte i la seva integració en l'entorn de la salut, es realitza una col·laboració amb la Fundació TIC Salut Social (d'ara endavant TICSalut).

Per una banda, i2CAT és un centre de recerca i innovació compromès amb el repte de dissenyar i construir la societat digital del futur a través del coneixement generat en el desenvolupament de projectes locals i europeus i activitats d'R+D+I en àrees com 5G/6G, IoT, tecnologies immersives i interactives, ciberseguretat, intel·ligència artificial, *blockchain*, *space communications* i tecnologies de la societat digital.

Per l'altra, TICSalut és l'organisme del Departament de Salut que treballa per impulsar el desenvolupament i la utilització de les TIC, el treball en xarxa en l'àmbit de la salut que, actua com a observatori de noves tendències d'innovació, realitza el seguiment d'iniciatives emergents i ofereix serveis de normalització conjuntament amb la homologació de productes. La implantació de les TIC en salut ja és imparable i es visualitza com un dels elements més transformadors de la salut del futur.

Ambdues entitats van detectar que la salut és un dels àmbits més rellevants i amb més impacte per a la societat, on desenvolupar projectes que demostrin la utilitat de tenir 5G desplegat a tot el territori català. És per aquest motiu que es va dissenyar i realitzar conjuntament el present projecte, anomenat "Prova pilot sobre l'ús de la tecnologia 5G per la provisió de serveis sanitaris a l'entorn domiciliari al Laboratori 5G de Terres de l'Ebre".

El disseny, definició i avaluació d'aquests casos d'ús amb aplicació a salut és l'objecte d'aquest informe, orientat a desenvolupar una prova pilot sobre l'ús de la tecnologia 5G per la provisió de serveis sanitaris a l'entorn domiciliari.

Aquest projecte implica, entre altres objectius, donar ús al laboratori en servei al municipi de Móra la Nova (Tarragona), anomenat COEbreLAB [5G Rural](#) (laboratori 5G que és seu de l'Àrea 5G Terres de l'Ebre), amb l'objectiu de realitzar proves en entorns reals de models de desplegament de la 5G en l'àmbit rural, així com la creació de productes i serveis digitals de valor afegit que es puguin estendre en aquesta comarca o en altres zones de l'àmbit rural català. Aquest laboratori, situat al Polígon el Molló, Nau 8 s/n- 43770 Móra la Nova, a Terres de l'Ebre, permet disposar d'un entorn controlat i condicionat on realitzar les principals proves del pilot. També s'han realitzat algunes proves de connexió en diverses localitzacions del territori.

2.2 Justificació

El projecte **TDA 5G Rural - Prova pilot sobre l'ús de la tecnologia 5G per la provisió de serveis sanitaris a l'entorn domiciliari al laboratori 5G de Terres de l'Ebre** neix amb l'objectiu d'estudiar com la incorporació de les TIC (Tecnologies de la Informació i la Comunicació) poden millorar els processos assistencials del sector sanitari en entorns rurals i amb difícil accés als serveis de salut.

La regió de Terres de l'Ebre va ser seleccionada per la seva condició de regió altament rural, confirmada per un gran nombre de municipis amb poca població. Atès el baix nombre d'habitants, el nombre de centres sanitaris disponibles en el territori és reduït i aquests es troben allunyats d'alguns dels municipis, obligant els pacients i professionals sanitaris a desplaçar-se. Malgrat que hi ha consultoris locals, generalment només s'ofereix el servei en determinats dies de la setmana i en hores concretes. A més, la cobertura i connectivitat en zones rurals acostuma a ser limitada, fet que implica una barrera important per a la utilització de la salut digital.

Aquest entorn presenta un gran repte, com és la monitoratge de pacients, especialment aquells amb malalties cròniques, i és aquí, on eines tecnològiques com la 5G permeten millores clau en la connectivitat que habilitaran la incorporació de millores en els processos assistencials i els serveis basats en teleassistència, com el monitoratge remot en salut.

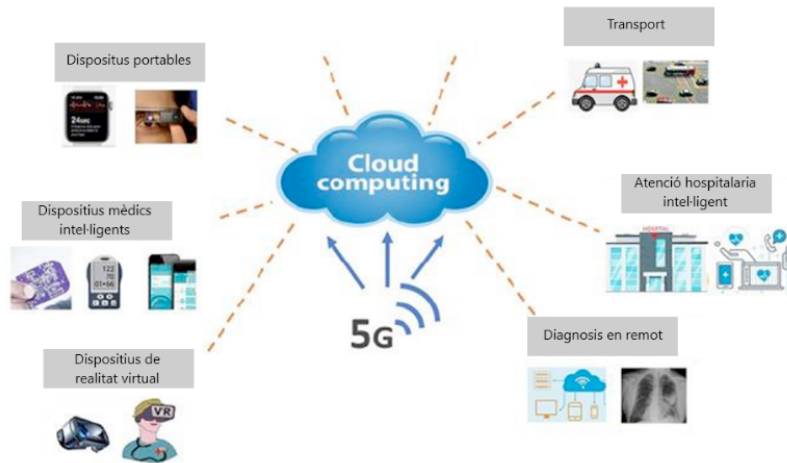
El monitoratge remot en salut permet, mitjançant l'ús de la tecnologia, recopilar dades mèdiques de pacients de manera remota i transmetre'ls a professionals de la salut per a la seva avaluació i seguiment. Amb aquesta incorporació es podrà dur a terme una atenció mèdica contínua i personalitzada, especialment en situacions on la distància física o la mobilitat del pacient representen un desafiament.

Alguns aspectes clau del monitoratge remot en salut són els següents:

- **Dispositius i sensors:** Els pacients poden utilitzar una varietat de dispositius i sensors per recopilar dades mèdiques, com la pressió arterial, el ritme cardíac, el nivell de glucosa en sang, la saturació d'oxigen, el pes corporal, la temperatura, entre altres. Aquestes dades es poden transmetre amb tecnologies sense fils, a través d'aplicacions mòbils o dispositius específics.

- **Aplicacions mòbils i plataformes en línia:** Les aplicacions mòbils i les plataformes en línia permeten als pacients introduir dades sobre la seva salut, realitzar un seguiment del seu progrés i comunicar-se amb els seus proveïdors d'atenció mèdica. Els professionals de la salut poden accedir a aquestes dades en temps real o revisar-les en intervals de temps programats.
- **Monitoratge de malalties cròniques:** El monitoratge remot és especialment útil en la gestió de malalties cròniques com la diabetis, la hipertensió, les malalties cardíques i la malaltia pulmonar obstructiva crònica (MPOC). Els pacients poden registrar les seves lectures i símptomes de manera regular, la qual cosa permet als metges fer un seguiment de l'estat del pacient sense necessitat d'anar a un centre mèdic i ajustar els plans de tractament segons sigui necessari.
- **Seguiment remot d'aguditzacions i descompensacions:** El monitoratge remot permet un control de les variables que poden ajudar a identificar l'agudització de problemes mèdics abans que es tornin crítics.
- **Millora de la qualitat de vida:** El monitoratge remot pot brindar als pacients una major sensació de control sobre la seva salut i reduir la necessitat de dur a terme visites mèdiques presencials freqüentment. També pot millorar la qualitat de vida en reduir la càrrega de desplaçaments i cites mèdiques.
- **Seguretat i privacitat de les dades:** És essencial que s'estableixin mesures de seguretat sòlides per protegir les dades de salut dels pacients, tant des del punt de vista de trànsit com d'emmagatzematge.
- **Integració amb sistemes de salut:** El monitoratge remot en salut s'integra cada vegada més amb els sistemes d'atenció mèdica existents. Les dades recopilades poden incorporar-se a registres mèdics electrònics i ser utilitzats pels equips d'atenció mèdica en la presa de decisions clíniques.

Per poder realitzar aquesta atenció i poder establir un sistema telemàtic de monitoratge, són necessaris una sèrie dispositius mèdics que permetin la captació de dades rellevants per al monitoratge de malalties o l'estat general de salut d'un pacient, com ara pulsioxímetres, tensiòmetres, glucòmetres, etc. Més enllà de capturar i analitzar les mesures d'aquests dispositius, també es poden fer servir eines de vídeo i computació amb Intel·ligència Artificial (IA) facilitant una anàlisi en directe o en post-processat i així poder donar una resposta correcta i prendre les decisions oportunes per part dels professionals sanitaris.



Il·lustració 5: Dispositius i serveis que es poden interconnectar amb la 5G

Cal tenir en compte que, per tal de poder connectar el pacient amb el professional sanitari, es requereix d'una tecnologia de connectivitat que sigui capaç d'oferir una connexió ràpida, amb baixa latència i que permeti enviar un gran volum de dades.

Per tant, es desenvolupa el present projecte per fer una **avaluació tecnològica de l'ús de la 5G per la connectivitat d'eines de telemedicina** que permetin:

- Garantir l'atenció sanitària a l'entorn del domicili
- Monitorar constants de forma remota
- Facilitar la comunicació entre professional i pacient
- Donar suport remot a través de tecnologies mòbils entre Centres d'Especialitats i domicilis

2.3 Objectius i abast

L'objectiu d'aquest projecte és definir, desplegar i testejar diferents escenaris de serveis sanitaris remots, tenint en compte les opcions tecnològiques que ens ofereix la 5G a Terres de l'Ebre. Per tal de complir aquest objectiu s'han dut a terme les següents tasques:

1. Definició de diferents escenaris de serveis sanitaris remots (novembre 2021).
2. Definició de casos d'ús sobre els escenaris de tele-assistència per la realització de la prova de concepte 5G (maig 2022).
3. Disseny i desplegament d'espais de simulació clínica (gener - març 2023).
4. Avaluació de la idoneïtat de la tecnologia 5G en els diferents casos d'ús identificats, en funció de diferents paràmetres (maig - setembre 2023).

Per poder realitzar l'avaluació tecnològica de la 5G, la prova de concepte s'ha dissenyat amb l'objectiu d'avaluar el grau i la qualitat de la interconnectivitat dels dispositius i equipaments necessaris per la simulació dels casos d'ús, i en última instància, identificar quina és la tecnologia

més adient per a la connexió dels dispositius amb la xarxa: 5G, 4G, IoT/LTE-M, WiFi/Bluetooth-F0.

Per dur a terme la prova dels casos d'ús s'ha simulat tant la figura del professional assistencial com la del pacient. Les mesures de connectivitat s'han dut a terme en el laboratori COEbreLAB 5G i en una sèrie d'ubicacions exteriors.

Per últim, cal destacar que els casos d'ús han estat dissenyats per tal d'avaluar, tècnicament, els sistemes de connectivitat i poder donar resposta als escenaris mèdics plantejats, no per avaluar l'aplicació clínica.

2.4 Metodologia de treball

Per el desenvolupament d'aquest projecte s'ha optat per una metodologia basada en les següents etapes:



Il·lustració 6: *Workflow* del projecte

En una primera fase s'ha realitzat el disseny dels escenaris de salut que s'han contemplat en la prova de concepte. Per dur a terme aquesta tasca s'ha comptat amb el suport de professionals assistencials i d'entitats del SISCAT del territori de Terres de l'Ebre.

Per a la definició dels escenaris s'han realitzat sessions de cocreació liderades per TICSalut, on s'han definit una sèrie d'escenaris generals en base als criteris assistencials proporcionats pels professionals.

A partir dels escenaris generals s'han definit diversos subescenaris tenint en compte els següents criteris:

- **Tipus de pacient:** Informació del tipus de pacient i els aspectes clínics de l'escenari.
- **Criticitat:** Valor de criticitat per al pacient, per a cada un dels escenaris
- **Nivell d'atenció requerida:** Informació del tipus de comunicació, del seguiment i dels recursos diagnòstics i terapèutics emprats.
- **Tecnologia associada:** Informació de les variables clíniques rellevants i els dispositius mèdics emprats.

Els escenaris dissenyats, en base a les consideracions anteriors, són els escenaris definitius a partir dels quals s'han definit els casos d'ús. Per al disseny dels casos d'ús s'han considerat una sèrie de requisits que tenen com a finalitat avaluar les tecnologies necessàries per poder realitzar

els serveis remots contemplats en els escenaris de salut.

Per tant, el disseny s'ha iniciat amb una recollida de requisits i definició de l'abast amb els següents apartats:

- Recollida/definició de requisits de les proves: Aquesta etapa involucra la identificació i definició detallada dels requeriments necessaris per a les proves que es realitzaran. Això inclou definir quins seran els objectius de les proves, quins paràmetres es mesuraran, i quines seran les condicions sota les quals es realitzaran les proves.
- Recollida de requisits dels dispositius mèdics: Aquesta etapa implica recopilar tota la informació necessària sobre els dispositius mèdics que es faran servir durant les proves. Això inclou especificacions tècniques, limitacions, i qualsevol altre informació rellevant.
- Recollida de requisits de connectivitat: Aquesta etapa inclou la definició dels requisits de connectivitat, tant a nivell local (entre dispositius situats en el mateix lloc), com a nivell remot (entre dispositius situats en diferents ubicacions). Es consideren diverses tecnologies; incloent la 5G.

Amb aquesta informació i amb una anàlisi del funcionament dels equips s'inicia la fase de disseny de l'escenari tecnològic. Aquest disseny té en compte tots els requisits recollits anteriorment, així com les particularitats dels dispositius mèdics i les necessitats específiques de connectivitat. A més, s'estableixen les metodologies adequades per garantir que les proves que es duguin a terme siguin representatives i proporcionin resultats fiables.

Un cop realitzat el disseny, s'executen les proves per validar si la connectivitat, la quantitat d'informació que es transmet, l'eficiència i el rendiment.

Finalment, i com a darrera fase de treball, s'avaluen els resultats per determinar si les proves han estat exitoses i si els objectius s'han assolit de forma satisfactòria.

03

Disseny d'aplicació de salut

3.1 Creació grups de treball

TICSalut realitza una sessió de *kick off* del projecte amb representants sanitaris de la Regió Sanitària de Terres de l'Ebre on es fa una proposta de punt de partida i es defineix el grup de treball.

En la confecció del grup de treball i per garantir una mostra representativa dels principals entorns de l'àmbit sanitari assistencial s'han seleccionat un grup de professionals sanitaris interdisciplinari de la Regió Sanitària de Terres de l'Ebre (Hospital Móra d'Ebre, Hospital de Tortosa Verge de la Cinta i CAP Flix) juntament amb membres del Programa d'Atenció Domiciliària i Equips de Suport (PADES) del Fundació Sagessa salut i coordinades juntament amb el Departament de Sistemes d'Informació de l'ICS a Terres de l'Ebre¹, amb els quals es realitzen una sèrie de sessions de cocreació per tal de dissenyar els escenaris i subescenaris de salut.

3.2 Disseny d'escenaris per als casos d'ús

Un cop conformat el grup de treball es realitzen dues sessions de cocreació el febrer de 2021 amb dos grups de treball interdisciplinaris. El primer grup de treball està conformat per els representants de l'Hospital Móra d'Ebre i PADES i el segon pels representants del CAP de Flix.

En aquestes sessions de cocreació es formula una proposta de tres escenaris inicials per dinamitzar al grup de treball. Dins de la dinàmica amb els professionals s'han reformulat els tres escenaris inicials fins a consensuar un total de cinc escenaris que queden ordenats en base al nivell de criticitat de l'escenari i les necessitats assistencials que s'hauran de cobrir en els casos d'ús.

Els escenaris queden resumits a continuació en la Taula 1.

¹ Pere Freixas, Pilar Vallano, Maria Ferrer Ferrate, Miquel Faiget, Montserrat Garcia Vaque, Sonia Loran Valcarcel, Alvar Vea, Maria Pilar Vallano, Olga Pinyol, Eduardo Ruiz

Escenaris	Criticitat del pacient	Nivell d'atenció requerit
<p>1</p> <p>Seguiment de crònics en fase estable</p>	<p>BAIXA</p> <p>Pacients PCC estables</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisions de forma periòdica, mesura del risc de descompensació en funció d'escalas de valoració, reingressos previs. • Educació sanitària en el tractament i seguiment, avaluació del compliment terapèutic. • Videotrucada o telèfon per visites de seguiment, i eConsulta per dubtes o consultes no urgents. Algunes proves requereixen desplaçament (centre o domicili).
<p>2</p> <p>Seguiment de crònics en fase d'agudització²</p>	<p>ALTA / MODERADA</p> <p>Pacients PCC descompensats</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nivell d'atenció i temps de resposta en funció de la descompensació o l'agudització. • Compliment terapèutic i protocols clars pels cuidadors i familiars. • Videotrucades per la valoració puntual i la visualització del pacient i/o equipament mèdic al domicili. • Pot requerir el trasllat al centre o desplaçament de professionals al domicili per a la realització de proves.
<p>3</p> <p>PADES – Programa d'Atenció Domiciliària i Equips de Suport</p>	<p>ALTA</p> <p>Necessitat immediata d'atenció</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pacients al final de la vida, requereixen majoritàriament un suport presencial i emocional i la existència d'un cuidador vàlid. • Monitoratge de símptomes per garantir la bona salut del pacient (dolor, febre) i la monitoratge de variables clíniques. • Videotrucada i telèfon com a suport en el seguiment assistencial. • Comunicació a demanda amb l'equip de suport.
<p>4</p> <p>Hospitalització a domicili</p>	<p>ALTA / MODERADA</p> <p>Pacients crònics reaguditzats</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nivell d'atenció diari de manera presencial (metge/infermera). • Monitoratge de símptomes per garantir la qualitat de vida del pacient (dolor, febre) i monitoratge de variables clíniques. • Videotrucada i telèfon com a suport en el seguiment assistencial. • Comunicació a demanda per telèfon directe amb l'equip. • Pacients al final de la vida, suport presencial i emocional i cuidador.
<p>5</p> <p>Consultoris mòbils</p>	<p>ALTA / MODERADA</p> <p>Pacients PCC estables o amb aguditzacions puntuals</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisions de forma periòdica segons el cas. • Mesura del risc de descompensació en funció d'escalas de valoració, reingressos previs. • Nivell d'atenció i temps de resposta en funció de la descompensació o l'agudització. • Videotrucada o telèfon per visites de seguiment, i eConsulta per dubtes o altres consultes no urgents. • Algunes proves requereixen desplaçament (al consultori).

Taula 1: Escenaris del pilot.

3.3 Definició d'escenaris i subescenaris de treball

Els subescenaris de treball són aplicacions concretes dels escenaris prèviament treballats. Es defineixen partint de l'escenari inicial, però s'amplien fixant-se en una patologia, a quina població s'adrecen o quin és el seguiment que s'ha de realitzar.

Els escenaris 1, 2 i 3 es fixen més en la patologia, l'escenari 4 s'orienta sobre la població a la qual s'adreça, i l'escenari 5 es defineix segons el tipus de seguiment que s'ha de realitzar.

A continuació es mostren els subescenaris segons l'escenari inicial descrit.

1 Descripció dels subescenaris				
Població diana	<ul style="list-style-type: none"> • Pacient amb pluri-patologia crònica i fase d'estabilitat • Subescenaris: MPOC, insuficiència cardíaca, diabetis mellitus, seguiment de nafres • Alguns pacients amb problemes de desplaçament (escala Barthel) • Pacients en risc de descompensació, valoració en funció d'escalas de complexitat i nombre de reingressos previs 			
	MPOC	Insuficiència cardíaca	Diabetis Mellitus	Seguiment de nafres
Atenció requerida	<p>Revisions una vegada l'any, sobre adherència al tractament. Educació sanitària, avaluació compliment terapèutic, avaluació constants, seguiment abstinència tabac i revisió vacunació. Lleu i moderat: videotrucada semestral. Sever: videotrucada trimestral.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Videotrucada trimestral (compliment dietètic, compliment terapèutic). 	<p>En DM hi ha més variabilitat de casos, el seguiment anirà en funció del tipus de pacient i el tipus de DM. Videotrucada de control trimestral amb infermeria.</p>	<p>Seguiment per part d'infermeria i/o referent de cures al CAP que avalua la ferida.</p>
	MPOC	Insuficiència cardíaca	Diabetis Mellitus	Seguiment de nafres
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • Tensió arterial, freqüència cardíaca, freqüència respiratòria, saturació oxigen (2 o 3 vegades l'any segons evolució clínica) • Test de la marxa de 6 minuts (3 vegades) <p>Escala de valoració de la dispnea (British Medical Research Council)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tensió arterial, freqüència cardíaca, pes, saturació d'oxigen (setmanal). • Diagnòstic funcional segons New York Heart Association (NYHA) (trimestral). • Criteris sobrecàrrega (augment pes patològic, augment dispnea d'esforç, augment d'ortopnea i dispnea paroxística nocturna), trimestral. • Registre activitat física amb podòmetre. • Escala Minessota de qualitat de vida / trimestral. <p>Escala europea per IC / trimestral.</p>	<p>Insulinodependent estable:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mesurador glicèmies sc (3 mesures/dia). • T/A - FC c/7 dies • Registre d'hipos <60 (Si més de 2 episodis/ setmana alerta)// hiperglicèmica en dejú >130-150) <p>Tira orina mensual</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Imatges de la ferida (tan al centre com a domicili) • Imatges de l'apòsit retirat • Altres variables associades a la malaltia del pacient <p>Temperatura</p>
Tecnologia associada	<p>Caldria disposar de més equipament que permeti un seguiment continuat per part del pacient i/o cuidador des de domicili. TA, sat O2, peak-flow, videotrucada aparells, estetoscopi digital. App per videoconferència amb el professional, o dispositiu entregat al pacient que sigui realment fàcil amb un sol clic.</p>	<p>Tensió arterial, freqüència cardíaca, saturació oxigen, pes, auscultació, videotrucada</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Glucòmetre • Bomba insulina <p>Sistema de monitoratge contínua de glucosa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Càmera del mòbil • Càmera específica

Taula 2: Escenari de seguiment de crònics en fase estable.

2 Descripció dels subescenaris			
Població diana	<ul style="list-style-type: none"> • Pacient amb pluri-patologia crònica i fase d'agudització • Subescenaris: MPOC, insuficiència cardíaca, Diabetis Mellitus • Alguns pacients amb problemes de desplaçament (escala Barthel) • Pacients descompensats (risc alt de descompensació ràpida), valoració en funció d'escapes de complexitat i nombre de re-ingressos previs • Descompensació per excés de confiança sobre variables clíniques, falta de seguiment del tractament (adherència), mal ús de l'equipament sanitari (p. ex. càmeres d'inhalació en pacients MPOC), o falta de protocols d'alertes als serveis sanitaris per part dels pacients i/o cuidadors 		
	MPOC	Insuficiència cardíaca	Diabetis Mellitus
Atenció requerida	<p>Casos de descompensació cognitiva, dispnea (ofec), inclús amb oxigen.</p> <p>Infermeria: avaluació variables c/8h + avaluació vídeo tiratges respiratoris. Metge: avaluació c/24h.</p>	<p>Videotrucada: vigilància d'excés de sal, compliment terapèutic, auscultació, ingurgitació jugular, edemes). Seguitment diari.</p>	<p>Priorització en els insulinodependents. Alerta individualitzada de quan està descompensat (grau control /edat , pendent especificar).</p>
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura, sat O2, TA, FC, FR • Videotrucada per valoració estat general, per veure tiratges respiratoris, valorar dispnea amb la parla, cianosi, altres... • Infermeria avaluació variables c/8h + avaluació vídeo tiratges respiratoris. • Metge avaluació c/24h. • Diferents nivells d'alerta segons variables 	<ul style="list-style-type: none"> • Tensió arterial, freqüència cardíaca, saturació oxigen (matí i nit). • Pes. Dejú i abans d'anar a dormir. • Fotografia cames per valorar edemes maleolars. • Gravació sons estetoscopi damunt plantilla, pacient es posa al damunt (tòrax/esquena). • Criteris sobrecàrrega (Augment pes patològic, augment dispnea d'esforç, augment d'ortopnea • Dispnea paroxística nocturna) c/24h. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesurador glicèmies sc c/hora amb buidatge de les dades per decidir canvis en el tractament. • Tensió arterial, freqüència cardíaca • Tira orina: Glucosa en orina, leucos i nitrts en dejú. • Temperatura. Matí. • Registre ingesta (foto plat , registre quantitat menjar)
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • El familiar i/o cuidador avisa de la descompensació a través del telèfon del CAP, excepte altres persones de fora, que accedeixen a través del 061, des d'on es redirigeix al CAP. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fonendoscopi digital 	<ul style="list-style-type: none"> • Glucòmetre • Sistema monitoratge contínua de glucosa amb alarmes.

Taula 3: Seguiment de crònics en fase d'agudització.

3 Descripció dels subescenaris			
Població diana	<ul style="list-style-type: none"> • Pacients al final de la vida, requereixen majorment un suport presencial i emocional i existència d'un cuidador vàlid • Monitoratge de símptomes per garantir la qualitat del pacient (dolor, febre), monitoratge de variables clíniques • Videotrucada i telèfon com a suport en el seguiment assistencial • Comunicació a demanda amb telèfon directe amb l'equip de suport per a pacients, familiars i cuidadors 		
	Fragilitat i demència pacients neurològics	Pal·liatius Oncològics	Insuficiència Crònica Avançada
Atenció requerida	<p>Suport majorment presencial i emocional, seguiment puntual d'aspectes clínics a demanda. Les insuficiències, condicions agudes o mala nutrició son la principal causa de mort.</p> <p>Es prioritza l'atenció presencial, la no presencial pot ajudar per fer un major seguiment. Telèfon específic pel pacient i cuidador, disponibilitat 24x7, ja sigui de l'equip de PADES o Urgències. Es valora positivament la VC com a substitut del telèfon, per tenir una millor comunicació i observació del pacient.</p> <p>Seguiment principalment telefònic i amb visites presencials, segons necessitat. Amb estabilitat, una visita al mes de mitjana. En cas de necessitat del pacient, un equip de professionals es desplaça.</p>	<p>Suport emocional i controls de símptomes (dolor...), requereix majorment atenció presencial. Es planteja l'atenció no presencial com a alternativa al telèfon, tot i que la proximitat és molt important.</p> <p>Seguiment de tractaments i símptomes. Urgències per consultar aspectes de la malaltia. Telèfon propi i horari específic (24hx7). Es valora prioritàriament la videoconferència enfront del telèfon.</p> <p>Seguiment principalment telefònic i amb visites presencials, segons necessitat. Amb estabilitat, una visita al mes de mitjana. En cas de necessitat del pacient, un equip de professionals es desplaça.</p>	<p>Pacient respiratori, fetge, pulmó, cardíac, renal, diabetis, altres. En aquest subescenari és més important la monitoratge de variables.</p> <p>A demanda i periòdica, depenent del pla de seguiment i característiques del pacient. Telèfon, videoconferència, monitoratge automàtic de dades, alarmes, alertes. Seguiment principalment telefònic i amb visites presencials, segons necessitat. Seria interessant introduir elements de pro-activitat en base a dades recollides automàticament.</p>
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • El suport emocional al pacient i cuidador és més important que el seguiment de variables clíniques. • Bàsiques (pes, temperatura), dolor. Saturació oxigen, pols, temperatura, detector de caigudes, tensió, electrocardiograma, glicèmia. 		<p>Bàsiques (pes, temperatura), dolor. Saturació oxigen, pols, temperatura, detector de caigudes, tensió, electrocardiograma, glicèmia.</p>
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositius per recollir variables o aplicacions per auto-informar des del domicili (pacient i/o cuidador) 		<p>Electrocardiograma i ecògraf, seria interessant realitzar proves al domicili. Actualment hi ha un ecògraf (GE VSCAN) que es pot portar al domicili, però cal avaluar la connectivitat i integració, i la possibilitat que un especialista accedeixi en temps real des de l'hospital.</p>

Taula 4: Escenari de PADES (Programa d'Atenció Domiciliària i Equips de Suport).

4 Descripció dels subescenaris			
Població diana	<ul style="list-style-type: none"> • Pacient crònic reaguditzat • Subescenaris: MPOC, Insuficiència cardíaca, insuficiència hepàtica 		
	MPOC	Insuficiència cardíaca	Insuficiència Hepàtica
Atenció requerida	Casos de descompensació de MPOC amb insuficiència respiratòria lleu/moderada a/s O2 Visita diària servei de medicina o d'infermeria	Casos de descompensació d'Insuficiència cardíaca lleu/moderada. Visita metge/infermera (c/24-48h)	Casos de descompensació d'Insuficiència hepàtica que precisen buidament de líquid ascític. Visita metge/infermera (c/24-48h)
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura, Sat O2, TA, FC, FR (c/8h) • Videotrucada per valoració estat general, per veure tiratges respiratoris, valorar dispnea amb la parla, cianosi, etc. • Infermeria avaluació variables c/8h + avaluació vídeo tiratges respiratoris. 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura, Sat O2, TA, FC, FR (c/8h) • Fotografia cames per valorar edemes mal·leolars. • Gravació sons estetoscopi damunt plantilla, pacient es posa al damunt (tòrax/esquena). • Criteris sobrecàrrega (Augment pes patològic, augment dispnea d'esforç, augment d'ortopnea,etc) 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura, Sat O2, TA, FC, FR (c/8h) • Videotrucada per valoració estat general. • Infermeria avaluació variables c/8h
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositius per monitoratge de variables. • Dispositius per a la realització de videotrucades. • Dispositius que permetin realitzar la determinació de paràmetres analítics (gasometria, hemograma, coagulació, etc) • Dispositiu que permeti verificar la correcta administració d'oxigenoteràpia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositius per monitoratge de variables. • Dispositius per a la realització de videotrucades. • Dispositius que permetin realitzar la determinació de paràmetres analítics (gasometria, hemograma, coagulació, etc) • Fonendoscopi digital • Ecògraf digital 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositius per monitoratge de variables. • Dispositius per a la realització de videotrucades. • Dispositius que permetin realitzar la determinació de paràmetres analítics (gasometria, hemograma, coagulació, etc) • Ecògraf digital

Taula 5: Escenari hospitalització a domicili Subescenaris de MPOC i insuficiències cardíaca i hepàtica.

4 Descripció dels subescenaris	
Població diana	<ul style="list-style-type: none"> • Pacients al final de vida.
Pacients al final de la vida	
Atenció requerida	<ul style="list-style-type: none"> • Suport de l'equip per control de medicació i suport emocional per fer front a la situació d'últims dies.
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • Control del nivell de consciència i assegurar l'absència de dolor. • Control de variables clíniques (Sat O2, FC)
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositiu per al control de les variables clíniques. • Dispositiu per al control de l'administració de medicació. • Dispositius per a la realització de videotrucades i aclariment de dubtes i/o expressió d'emocions.

Taula 6: Escenari d'hospitalització a domicili subescenaris de de pacients al final de la vida.

4 Descripció dels subescenaris	
Població diana	<ul style="list-style-type: none"> • Pacients amb malaltia infecciosa amb afectació pulmonar, nefrouinària, intestinal, etc. • Patologies: pielonefritis, diverticulitis, úlceres per pressió infectades, pneumònies, etc.
Pacients amb malaltia infecciosa	
Atenció requerida	<ul style="list-style-type: none"> • Pacients que requereixen administració de teràpia antibiòtica endovenosa. • Visita metge / infermera (c/24-48h)
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • Aquelles definides anteriorment
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • Aquella definida anteriorment

Taula 7: Escenari d'hospitalització a domicili subescenari de pacients amb malaltia infecciosa.

5 Descripció dels subescenaris	
Població diana	<ul style="list-style-type: none"> • Seguiment de crònics en fase estable • Seguiment de crònics en fase d'agudització • PADES - Programa d'Atenció Domiciliària i Equips de Suport
Pacients amb malaltia infecciosa	
Atenció requerida	<ul style="list-style-type: none"> • Pacients que no es poden desplaçar als nuclis urbans on hi ha els centres, que normalment reben els professionals a casa • Visita metge / infermera (c/24-48h)
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • Aquelles definides pel tipus de pacient.
Variables de seguiment	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositiu per al control de les variables clíniques • Dispositiu per al control de l'administració de medicació • Dispositius per a la realització de videotrucades i aclariment de dubtes • Altres

Taula 8: Escenari de consultoris mòbils.

Definits els escenaris es procedeix a definir els diversos casos d'ús que s'han implementat en la prova de validació tecnològica.

3.4 Disseny dels casos d'ús

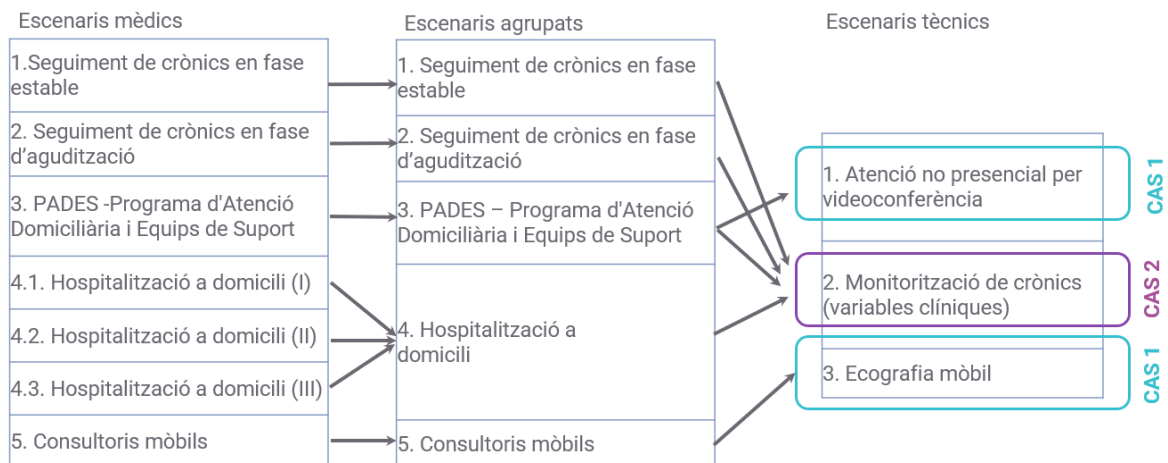
A finals de 2021, un cop identificats els escenaris i subescenaris mèdics, i2CAT va realitzar una reflexió de com es podien traduir les necessitats detectades en escenaris tècnics que es poguessin construir i validar amb proves específiques.

Les activitats previstes al pilot estan enfocades a testejar les capacitats de la 5G per donar resposta als requeriments d'interacció entre professionals i pacients i, per tant, s'han d'aplicar criteris tècnics sobre els subescenaris definits:

- Nivells de cobertura
- Disponibilitat del servei
- Retard comunicacions
- Qualitat de àudio/vídeo
- Usabilitat
- Altres...

Un cop aplicats criteris tecnològics, es plantegen tres casos d'ús. El primer de tots, el **Cas d'ús d'Atenció no presencial per videoconferència** per tal de donar resposta al Programa d'Atenció Domiciliària i Equips de Suport (PADES). En segon lloc el **Cas d'ús de Monitoratge de crònics (variables clíniques)** per tal de dur a terme el seguiment de pacients crònics en fase estable, en fase d'agudització, impulsar el PADES i donar resposta al cas mèdic de consultoris mòbils.

Aquest últim cas mèdic serà la base del tercer i darrer **Cas d'ús d'Ecografia mòbil**.



II·lustració 7: Transformació d'escenaris mèdics a escenaris tècnics

Per tant els casos d'ús pel seguiment de pacients en l'entorn domiciliari que es desplegaran per realitzar la validació de la tecnologia 5G són els següents:

- 1. Atenció no presencial per videoconferència
- 2. Monitoratge de crònics (variables clíniques)
- 3. Ecografia mòbil
 - Captació i enviament d'imatges en remot
 - Consulta remota d'imatges o ràfegues
 - Consulta remota temps real (tele-ecografia)

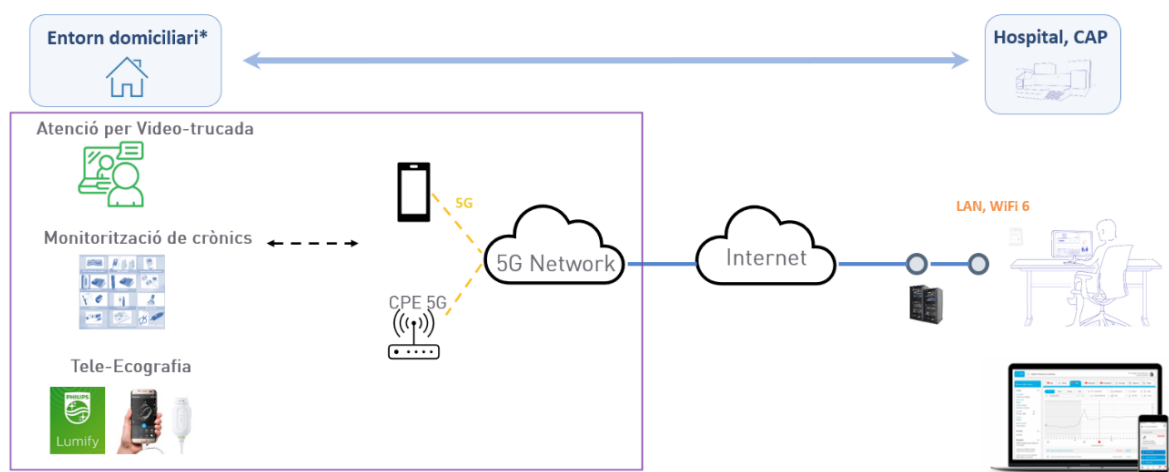
04

Disseny de l'escenari tecnològic

Per tal d'avaluar els serveis de salut sobre diferents tipus de xarxa, es va definir una prova de concepte basada en una sèrie d'experiments a partir del maig de 2022.

4.1 Definició de la prova de concepte

L'objectiu de la prova de concepte va consistir en crear un entorn simulat que permetés determinar el rendiment de la connectivitat de les aplicacions de salut amb diferents tecnologies d'accés. L'entorn de proves, que es pot veure a la Il·lustració 8, mostra, per una banda, l'entorn domiciliari que se simulava en el laboratori COEbreLAB 5G, on s'ubicaven les xarxes 5G i WiFi privades, a més de tenir cobertura de xarxes 4G i 5G públiques. Per altra banda, la seu d'i2CAT simulava l'entorn assistencial (Hospital, CAP), amb connexió a Internet a través de WiFi o LAN.



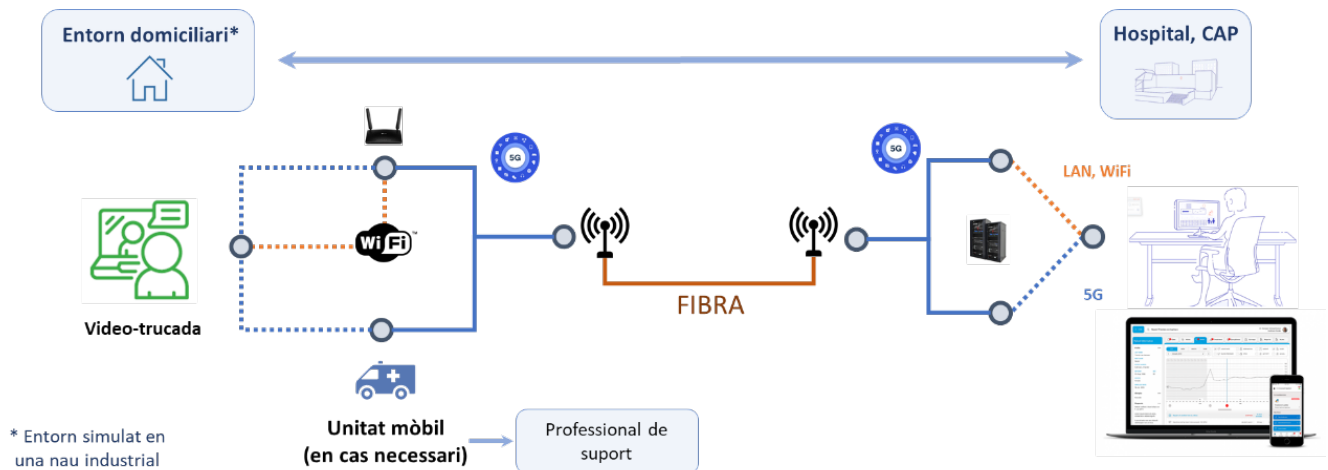
Il·lustració 8: Proposta de disseny tècnic

Des de la seu d'i2CAT s'assegurava que la connectivitat no fos un coll d'ampolla, és a dir, que hi havia suficient ample de banda i unes latències mínimes, per tal de poder avaluar el rendiment de l'accés a la xarxa.

A continuació es defineixen cadascuna de les tipologies de la prova de concepte que es van realitzar per cada un dels casos d'ús:

1a) **Atenció no presencial per videoconferència:** Es va establir una videotrucada mitjançant REACTS, plataforma proveïda per Philips, entre un pacient simulat (present en diverses ubicacions) i un tècnic ubicat a la seu d'i2CAT per validar la connectivitat.

La vista completa de l'escenari amb els seus actors, ubicacions i tecnologies que s'han considerat es pot contemplar en la Il·lustració 9.



Il·lustració 9: Escenari de comunicació per videoconferència

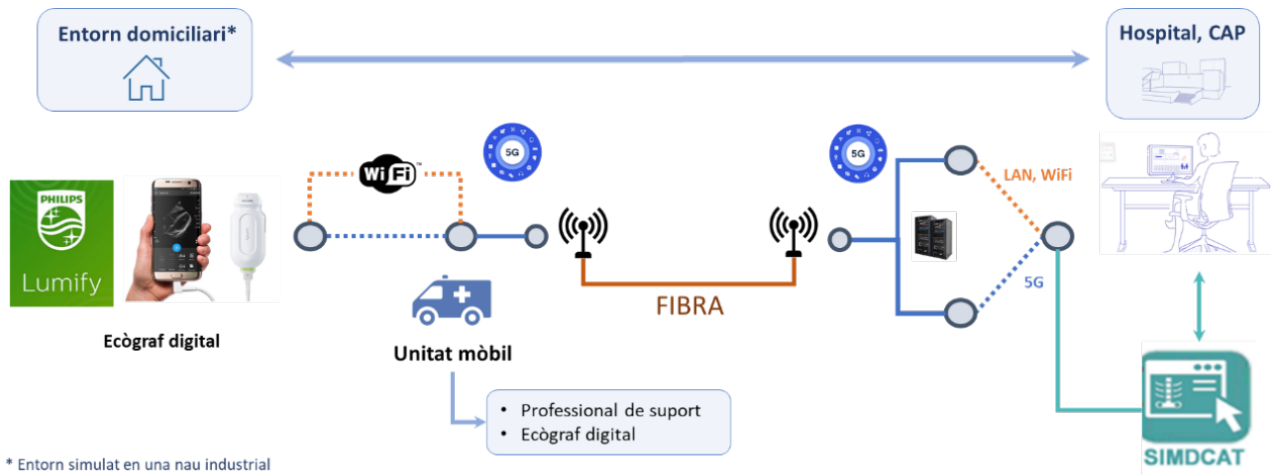
1b) **Ecografia mòbil:** Fent servir la plataforma REACTS i utilitzant un dispositiu d'ecografia portable que funciona amb *smartphones*, es va plantejar una prova simulada on un tècnic sanitari realitzava una ecografia a un pacient i aquesta s'enviava en temps real a un tècnic d'i2CAT, el qual exercia el paper de metge d'atenció primària i/o radiòleg.

En una segona interacció, es va ampliar la prova anterior, afegint el servei de consulta remota per videotrucada mentre s'utilitzava l'ecògraf. L'escenari descrit es pot veure en la Il·lustració 10.

Per fer l'ecografia, en aquest cas d'ús, es va optar per un dispositiu del fabricant Philips que està integrat amb la plataforma REACTS. Philips proposava una sonda d'ecografia portàtil connectable per cable a un telèfon mòbil. A través de REACTS es podria dur a terme una videoconferència, i en paral·lel realitzar l'exploració i transmissió de les dades.

Respecte aquest cas d'ús es van plantejar tres subescenaris simulats:

1. Captació i enviament d'imatges des del domicili en diferit per a l'anàlisi posterior. La xarxa d'accés en aquest cas ha de transmetre el fitxer de vídeo de la captura.
2. Consulta remota d'imatges o ràfegues que es realitzarien per part d'un tècnic al domicili del pacient i es consultarien per el metge d'atenció primària o radiòleg. En aquest cas, la tecnologia d'accés es fa servir per la comunicació (trucada) entre els dos extrems.
3. Captació de flux de vídeo en temps real des del domicili i visualització per l'especialista al centre (tele-ecografia). En aquest cas es requereix la transmissió de la captura de l'ecògraf en directe juntament amb la videotrucada entre els dos extrems.



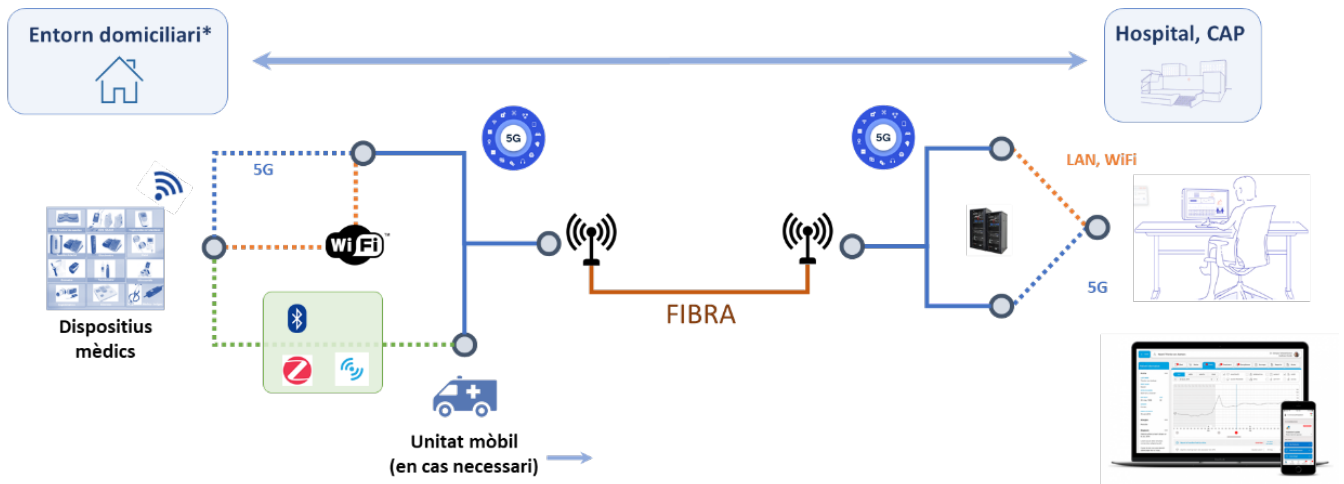
II-lustració 10: Escenari de transmissió de dades per ecografia mòbil

2) **Monitoratge de crònics:** En aquest escenari es van dur a terme mesures automatitzades d'indicadors de salut obtingudes amb dispositius mèdics portables de l'empresa Masimo (*wearables*) que s'enviaven a una aplicació de mòbil anomenada Masimo SafetyNet, la qual recollia les mesures dels sensors, les visualitzava i les compartia amb els servidors de Masimo. L'accés a les dades dels servidors permetria fer el seguiment de l'estat de salut d'un pacient.

El monitoratge de variables clíniques, a priori, no exigia un gran ample de banda, atès que les dades que s'enviaven s'enviaven a un rati molt menor que en el flux d'imatges (3 bps/dispositiu aproximadament). No obstant això, en un cas real, el professional podria estar interessat en accedir a la història clínica del pacient, fet que exigiria la necessitat de rapidesa en la descàrrega de les dades.

Els paràmetres a mesurar estaven relacionats amb el seguiment de pacients crònics (tensió arterial, freqüència cardíaca, temperatura, saturació d'oxigen, pes, glucosa i relacionats). Es podia seleccionar un o diversos dispositius en diferents configuracions de seguiment (alta intensitat de seguiment, moderada, esporàdica, etc.). També es podrien establir escenaris de monitoratge (contínua o mitjançant desplaçament d'unitat mòbil).

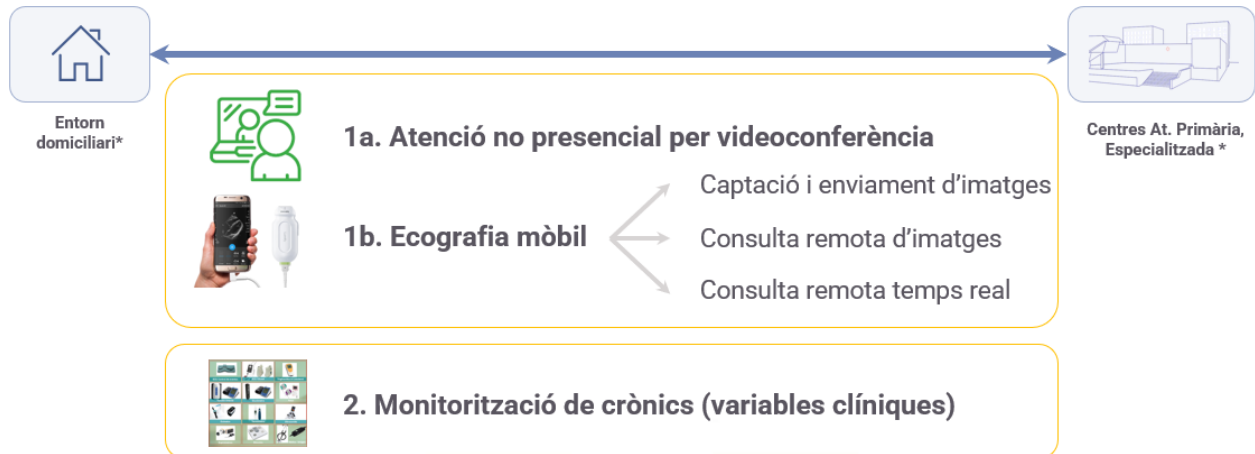
En aquest cas d'ús, Masimo proposava un sistema de dispositius que es connectaven via *bluetooth* a una aplicació del telèfon mòbil. L'objectiu era disposar d'un pla de mesures específic dissenyat pel metge i connectar tants sensors com fossin necessaris al mòbil. Per dur-ho a terme s'han emprat dispositius mèdics per capturar les variables de pressió arterial (tensiòmetre), de temperatura corporal (termòmetre), de saturació d'oxigen en sang (oxímetre), freqüència respiratòria (pletismògraf respiratori) i cardíaca (pulsímetre). L'aplicació agrupava les dades i les enviava a un *dashboard* de supervisió. Cal destacar que les dades no s'enviaven en temps real, sinó que s'agrupaven i s'enviaven amb una freqüència d'un cop per minut, aproximadament.



Il·lustració 11: Disseny escenari de seguiment de variables clíniques

El disseny de l'enviament de les dades estava pensat per una xarxa 4G segons el fabricant, per tant, qualsevol escenari amb desplegament 5G hauria de ser suficient per enviar tots els fluxos de dades dels diferents sensors.

Es va estimar que en transmissions puntuals de dades acumulades es pot arribar a transmetre entre 4 i 6 Mbps i calia valorar fins a quin punt les xarxes habituals, en els entorns rurals, podien tenir alguna limitació de velocitat de connexió que pogués afectar la transmissió d'aquestes dades.

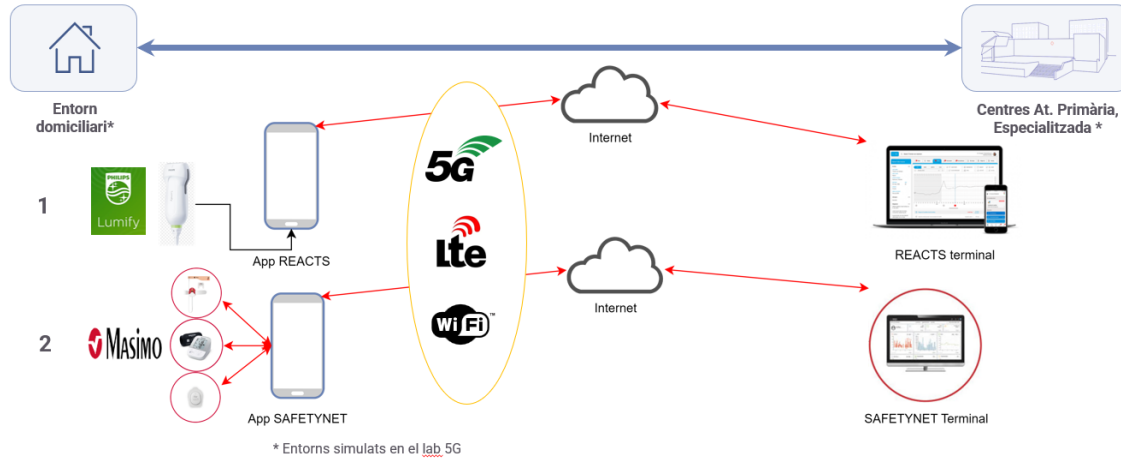


Il·lustració 12: Esquema casos d'ús del pilot

4.2 Esquema de connectivitat

Per als escenaris 1a i 1b es van considerar la 4G (LTE) i 5G públics, 5G privat i una xarxa WiFi com a possibles tecnologies per connectar l'entorn domiciliari via *smartphone* amb l'entorn assistencial. Per fer l'ecografia es va emprar l'eina *Philips Lumify*, conjuntament amb la plataforma RE-ACTS per fer les videotrucades remotes.

Per a l'escenari 2, es van fer servir els dispositius portables de Masimo, els quals es connectaven per *bluetooth* a un *smartphone* que disposava de l'aplicació Masimo SafetyNet. Aquest *smartphone* es pot connectar tant mitjançant xarxes cel·lulars (4G i 5G), via WiFi i enviar les mesures capturades als servidors de Masimo. Aquesta configuració descrita es visualitza en la Il·lustració 13.



Il·lustració 13: Esquema de connectivitat dels escenaris tècnics

4.3 Proves en els diferents escenaris

Per avaluar com es veia afectat el rendiment punt-a-punt entre les terminals dels pacients i doctors simulats, segons les diferents xarxes d'accés, es van determinar una sèrie de proves. En els escenaris 1a i 1b, aquestes s'enfocaven en l'avaluació de la qualitat d'experiència en la transmissió de so i imatge (ecografia + videotrucada). En l'escenari 2 es va avaluar que la transmissió de les mesures de salut del pacient es realitzés sense pèrdues i, per tant, es poguessin mostrar totes en el panell de dades.

La qualitat de l'experiència d'usuari i, per extensió, la qualitat de la transmissió mèdica als escenaris 1a i 1b, s'avaluava pels participants de la prova, de la forma més objectiva possible, observant si hi havia talls en la transmissió de l'àudio o vídeo, si la resolució es veia afectada i avaluant la latència entre el pacient simulat (COEbreLAB 5G) i el centre assistencial simulat (seu i2CAT). Les pèrdues en les transmissions en el segon escenari no es podien determinar de forma objectiva per la falta d'estadístiques de connexió en el sistema REACTS.

Per tal de poder avaluar les diferents tecnologies d'accés es va optar per emprar un entorn de proves en què hi hagués disponibilitat de xarxa 4G i 5G pública: al laboratori COEbreLAB 5G i en una sèrie d'altres punts de mesura de les Terres d'Ebre. Al laboratori, a part d'avaluar la connectivitat cel·lular 4G i 5G pública, es disposava de xarxes 5G i WiFi privades sota control d'i2CAT amb els quals es va voler validar les aplicacions. La distribució de les ubicacions en què s'han realitzat proves de mesures de xarxa són les següents:

Ubicacions de proves xarxa 5G privada i WiFi privat:

- Entorn laboratori COEbreLAB 5G

Ubicacions de proves xarxes 4G i 5G públiques:

- 2 en entorn interior i controlat dins el laboratori 5G
- 1 en exterior però en entorn controlat al voltant del laboratori 5G
- 12 ubicacions exteriors en diferents poblacions de les Terres d'Ebre
- 9 ubicacions interiors en diferents poblacions de les Terres d'Ebre

Proves de **xarxa mòbil**:

Amb la realització de les mesures en ubicacions fora de l'entorn controlat s'ha avaluat el rendiment amb diferents composicions dels nodes, capacitats i qualitats de connexió 4G i 5G de diferents operadors. Com s'ha indicat anteriorment, aquestes varien molt amb la ubicació en la qual s'executen les proves, la distància i la disponibilitat d'estacions base. Les proves amb les xarxes 4G i 5G públiques es van fer amb targetes SIM de Movistar i de Vodafone. No es va fer servir targetes SIM d'Orange atès que aquest operador comparteix infraestructura amb Vodafone. En conseqüència, les proves realitzades amb Vodafone són aplicables a Orange.

Per les proves amb una xarxa 5G privada, es va utilitzar la xarxa de proves disponible al laboratori COEbreLAB 5G que dona cobertura a tot l'edifici. Aquí es feien servir SIMs específiques que havien estat registrades a la xarxa privada. La xarxa privada estava configurada per operar a la banda n77, per la qual es va fer una petició d'espectre al ministeri que va resultar en l'assignació de 40 MHz que eren per ús de la xarxa 5G privada.

Per tal d'avaluar la cobertura dels operadors i el rendiment de la xarxa pública, es van seleccionar vint-i-quatre ubicacions en base als següents criteris:

Selecció d'Ubicacions:

- Ubicacions rurals "Ginestar" i "Rasquera-CasaManxol": Aquestes ubicacions es van seleccionar per avaluar la cobertura i el rendiment de la xarxa en àrees menys poblades i més aïllades, on la cobertura podia ser un repte.
- Ubicacions específiques com "Nau COEbreLAB" i "Benzinera Repsol-Bar Molló": En aquestes ubicacions es pot concentrar un volum important de persones, i per tant, es requeria d'una bona cobertura per suportar un ús intensiu de la xarxa.
- Ubicacions urbanes com "Tortosa": Incloure una ciutat permetia comparar el rendiment de la xarxa en àrees urbanes respecte àrees rurals.

Proves a l'**Interior vs. a l'Exterior**:

- Proves a l'exterior: Les proves realitzades a l'exterior proporcionaven dades sobre la cobertura i el rendiment de la xarxa en un entorn obert, on no hi havia obstruccions significatives com parets o edificis.
- Proves a l'interior (per exemple, "Institut Julio Antonio-Aula CFGS"): les proves a l'interior ajudaven a avaluar com les obstruccions físiques, com parets i edificis, afecten la cobertura i el rendiment de la xarxa.

Punt de mesura	Lloc	Hora	Coordenades	Tipus
Ginestar	Bar del poble	10:15	41.042059,0.634900	Exterior
Garcia	entrada poble	10:40	41.134573,0.651691	Exterior
Rasquera-CasaManxol	Casa Manxol	14:20	41.00133261414971, 0.5998189702705679	Exterior
Rasquera-CasaManxol	interior	15:30	41.00113880344561, 0.5997725997960694	Interior
Nau COEbreLAB	Cantó riu de la nau	11:15	41.073368, 0.668073	Lab 5G
Nau COEbreLAB	Laboratori 1	10:42	41.07315420144897, 0.6688967042496	Lab 5G
Nau COEbreLAB	SalaPolivalent	12:13	41.07315420144897, 0.6688967042496	Lab 5G
Benzinera Repsol-Bar Molló	Benzinera Repsol	10:13	41.079819141798325, 0.6618493747217722	Exterior
Benzinera Repsol-Bar Molló	interior	11:00	41.07995249093236, 0.6618561548015713	Interior
Tivissa-Poblat Iber	exterior	13:12	41.06248230532881, 0.6647569993886404	Exterior
Móra d'ebre	Institut Móra d'ebre	12:33	41.08654057531926, 0.632975946200496	Exterior
Móra d'Ebre	Plaça Consell Comarcal	12:19	41.09134671362804, 0.643539500789461	Exterior
Móra d'Ebre	Mas de la Coixa	13:42	41.09443150178441, 0.6511654856844407	Exterior
Móra d'Ebre	interior Hospital Comarcal	14:40	41.09578670340304, 0.6379863186418747	Interior
Móra d'Ebre	interior CAP	14:30	41.09568539220529, 0.637935623476157	Interior
Móra Mas de la Coixa	interior	15:10	41.095081589090434, 0.6506667313093398	Interior
Vinebre	Zona picnic	11:13	41.17464301085297, 0.6014334946876038	Exterior
Vinebre	poble	11:30	41.18222896042506, 0.5915019134406392	Exterior
Vinebre	Zona abans picnic	11:03	41.1731387,0.6064875	Exterior
Darmós	poble	12:00	41.0977873,0.7067531	Exterior
Tortosa	CISTE Tortosa_URV	8:23	40.819096975002616, 0.5211170267650198	Interior
Institut Julio Antonio	Aula CFGS	10:00	41.08643505095741, 0.6338928378072344	Interior
Institut Julio Antonio	bar	10:00	41.086495186441034, 0.6329059639995654	Interior
Institut Julio Antonio	AulaCisco	10:00	41.08629768446733, 0.6331533924032356	Interior

Taula 9: Ubicacions de les proves de connectivitat

Proves de la connexió WiFi:

Per dur a terme aquestes proves s'ha utilitzat el WiFi disponible en el laboratori 5G, que és d'ús reservat pels escenaris de prova. El punt d'accés de WiFi es va configurar per operar a 5 GHz amb una amplada de banda de 80 MHz.

Actuació en cada escenari

Per avaluar l'escenari 1, s'han fet servir dos comptes REACTS, un representant al pacient al costat del telèfon mòbil i l'altre representant el doctor amb un ordinador portàtil. El pacient s'ubicava, o bé al laboratori COEbreLAB 5G, o al camp (vegeu llistat d'ubicacions a la Taula 9). El doctor s'ha simulat com un usuari connectat des de casa al sistema REACTS, el qual observava la qualitat d'imatge i so rebut en temps real. Al principi de la connexió, el pacient, amb telèfon mòbil, guardava la ubicació i feia mesures del senyal de ràdio de l'entorn per poder avaluar el rendiment segons la qualitat de connexió. Després es connectava al sistema REACTS, conjuntament amb l'usuari que simulava ser un metge, i ambdós avaluaven la qualitat de vídeo i àudio rebut durant la videotrucada.

Seguidament, el pacient amb el telèfon mòbil activava l'ecografia. El tècnic que simulava ser metge, podia veure la imatge transmesa i avaluar la qualitat d'aquesta. Per comprovar aquests dos paràmetres, a través de la videotrucada, es donaven ordres simples al tècnic que simulava ser el pacient com "mou el sensor cap a la dreta", i aquest les efectuava. La part que simulava el professional assistencial podia mesurar l'espai de temps entre la instrucció i el canvi de posició de l'ecografia. Es van repetir tots els passos, per a cada una de les diferents tecnologies d'accés: WiFi (al laboratori), 4G i 5G (laboratori + camp), comprovant que amb totes elles es podien fer les proves.

En el cas de l'ecografia mòbil es registraven imatges d'aproximadament 262 KB per segon (Kbps). En línies generals, la tecnologia 4G LTE permet una velocitat màxima de pujada de dades de 50 Mbps. No obstant això, a les zones amb opcions d'ample de banda limitada o amb disponibilitat limitada al 3G, aquesta velocitat pot caure fins als 0.5 Mbps, velocitat amb la qual només es podria realitzar una videoconferència amb qualitat de vídeo mitjana. Per altra banda, en zones amb bona cobertura, es pot arribar a valors superiors quan un dispositiu permet la transmissió amb la suma de diverses bandes. Una xarxa pública 5G podria oferir velocitats de descàrrega d'aproximadament 100 Mbps, amb una latència que podria oscil·lar entre 10 i 50 ms, paràmetres que ofereixen marge suficient per utilitzar resolucions de vídeo més exigents o la introducció de fonts addicionals de pujada d'informació, mantenint un flux d'informació estable.

Per avaluar l'escenari 2, es va fer servir l'aplicatiu Masimo SafetyNet. Aquesta aplicació estava instal·lada en un telèfon mòbil amb connexió 5G i interactuava mitjançant *bluetooth* amb els diferents sensors mèdics. Aquests sensors enviaven les dades al terminal mòbil i aquest, mitjançant, la connexió de telefonia mòbil les enviava al núvol privat de l'aplicació.

Per a cadascuna de les proves s'ha analitzat el senyal, tant per la xarxa mòbil, com per la xarxa WiFi. A causa del nombre limitat de dispositius disponibles per dur a terme les proves, s'han realitzat les proves sempre amb un sol *smartphone* en ambdós escenaris però emprant múltiples sensors amb connectivitat *bluetooth* en l'escenari 2 de supervisió de malalts crònics.

Aquests sensors són:

- Omrom monitor de pressió arterial , model HEM-9210T
- Radius PPG Sensor (mesura de la saturació d'oxigen, freqüència del pols i freqüència de respiració)
- Radius T Sensor (mesura de la temperatura corporal)

Per obtenir resultats fiables en els escenaris 1a i 1b, la duració de cada prova era de 3 minuts, en la qual s'enregistrava el senyal per poder avaluar la qualitat de la transmissió d'imatges en aquest temps. També es va ampliar la quantitat d'ubicacions on executar la prova per tenir en compte una gran varietat de qualitats de senyal i cobertura mòbil. Per a l'escenari 2 (Masimo) es va monitorar la recollida de dades durant uns minuts en dies diferents i també durant una nit.

Es va aprofitar el fet d'haver d'instal·lar les aplicacions des de zero en els terminals de què es disposava per fer una avaluació de la facilitat d'instal·lació i de configuració de les aplicacions per personal no mèdic i tècnic. D'aquesta manera es donava una visió de la facilitat per desplegar aquestes aplicacions en el cas de fer un desplegament massiu del servei.

4.4 Indicadors a destacar

Pels escenaris 1a i 1b, referents a avaluar les tecnologies per videotrucades i ecografies remotes entre pacient i doctors, es van mesurar els següents indicadors:

- Comparació de qualitat de servei observant indicadors percebuts com la latència, fragmentació d'imatge, distorsió de so. L'avaluació es va fer per diverses persones de forma independent.
- Comparació de comportament de l'aplicació entre WiFi / 4G / 5G: Segons la qualitat de senyal i amplada de banda disponible, l'aplicació podia avisar a l'usuari.
- Avaluació del grau de connectivitat de la 5G: Es va avaluar si en ubicacions on hi ha 5G sempre hi havia suficient capacitat de canal, per poder fer una connexió entre pacients i doctors sense problemes o pèrdues de qualitat (comparat amb la 4G rural).

En l'escenari d'observació de malalts crònics es van mesurar els següents indicadors:

- Comprovar el correcte enviament de mesures dels sensors a la plataforma, observant si existeix alguna pèrdua de valor.
- Avaluar si les tecnologies sense fils amb què els sensors es connecten al *gateway* podien interferir amb la ràdio de la 5G.
- Avaluar la concurrència i les interferències causades per les diferents tecnologies en les comunicacions entre diversos sensors.

En la fase d'instal·lació i configuració s'ha validat:

- La facilitat d'instal·lació: De l'aplicació Masimo SafetyNet hi havia versions per Android i Iphone.
- La intuitivitat de la configuració dels dispositius mèdics: Aquesta era possible sense personal amb formació mèdica o formació tècnica, ja que es basava en l'aparellament mitjançant tecnologia *bluetooth*, principi que és habitual en altres aparells més domèstics.
- Es va comprovar que era indispensable que el tècnic sanitari/assistencial realitzés la configuració inicial del pacient i les variables a mesurar. En definitiva: crear l'entorn a la plataforma per després anar associant els diferents dispositius de mesura.

05

Avaluació dels resultats

Amb els escenaris definits, la metodologia concretada i els indicadors recollits, s'han dut a terme totes les proves mencionades anteriorment, les quals s'han traduït en els següents resultats. Cal destacar que es va executar una primera fase de proves i validacions durant els primers mesos de l'any 2023 i, a posteriori, es van preparar els entorns per a les validacions finals les quals s'han dut a terme entre maig i setembre de 2023.

En tots els escenaris (1a, 1b i 2) es van realitzar una sèrie de proves per valorar:

- Instal·lació i configuració per part d'una persona no mèdica.
- Usabilitat de l'equip, exploració de les seves funcionalitats i simulació de proves.
- Connectivitat en laboratori i proves de camp amb xarxa real per validar estabilitat i funcionament.

Cal recalcar que les mesures dutes a terme són mostres que permeten tenir una idea generalitzada del rendiment de les xarxes per a les aplicacions de salut. Tot i que s'han fet mesures en diferents ubicacions, no s'ha pogut fer una avaluació exhaustiva que pugui representar qualsevol àmbit rural del territori.

El rendiment en un desplegament real pot dependre de factors com els dispositius d'usuari de 5G utilitzats, la cobertura variable de les estacions base més pròximes o condicions meteorològiques com pluges. Per tant, l'abast de les avaluacions i conclusions d'aquest document es centren en la zona en la qual s'han fet proves i es podria estendre amb una campanya de mesures en altres parts del territori, per reforçar els resultats.

5.1 Resultats de l'escenari 1a + 1b

A continuació es presenten els resultats obtinguts en els escenaris 1a i 1b.

5.1.1 Resultats de la campanya de mesures 4G i 5G

En una primera fase de l'anàlisi es va avaluar el rendiment "brut" (paràmetres bàsics de les connexions com la velocitat d'accés a Internet i la latència de la connexió) de les xarxes comercials de 4G i de 5G NSA, és a dir, xarxes que necessiten recolzar-se en infraestructura 4G ja desplegada pels operadors (el desplegament massiu actual de 5G és NSA).

Seguidament es va fer una anàlisi de l'efecte d'aquestes en els escenaris 1a + 1b. Les proves previstes al laboratori utilitzant una xarxa 5G privada en el mode *standalone* (SA) no han estat

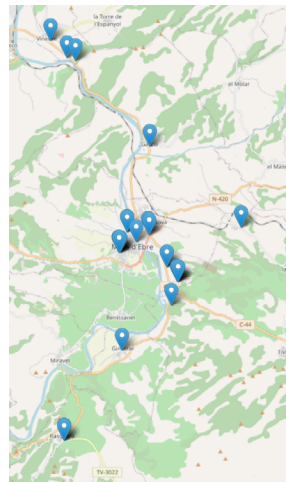
possible degut a una incompatibilitat entre les aplicacions de Philips i de Masimo i el dispositiu d'usuari (*smartphone*) utilitzat al laboratori. Es preveu que futures generacions de dispositius d'usuari suportin tots els modes d'operació de la 5G i totes les bandes que ofereix.

Fent proves "brutes" de rendiment de la xarxa privada 5G SA del laboratori COEbreLAB 5G i, en comparació amb una xarxa 4G del laboratori d'i2CAT a Barcelona, el rendiment del 5G SA és millor, aportant no només un ample de banda superior, sinó també una latència inferior. Per als escenaris 1a + 1b, això implicaria millor rendiment en la xarxa 5G que en la 4G, resultant en resolucions de vídeo constants i de qualitat òptima, una transmissió més ràpida (i.e., quasi en temps real) entre un pacient i un metge, i una transmissió fluida dels vídeos transmesos sense interrupcions.

Una forma d'avaluar els escenaris 1a + 1b amb una xarxa 5G SA en una futura prova seria utilitzant un portàtil enlloc d'un smartphone, connectat a un *customer premises equipment* (CPE) que suporti el mode 5G SA.

Havent limitat les proves de la xarxa 5G SA privada al rendiment brut i a una anàlisi teòrica, el següent pas era realitzar una prova de rendiment dels casos d'ús en un entorn de xarxes públiques 4G i 5G NSA en diferents ubicacions de les Terres d'Ebre amb un *smartphone* 5G (també compatible amb 4G) equipat amb SIMs de Vodafone i Movistar.

Per aquest fi, s'han dut a terme mesures en les ubicacions marcades en el mapa (Il·lustració 14).



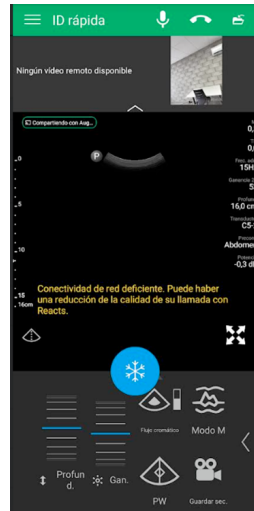
Il·lustració 14: Mapa de punts de proves per l'escenari 1a+1b ubicats en les terres d'Ebre

En cada una de les ubicacions, s'ha realitzat la prova de funcionament dels escenaris 1a + 1b. A continuació es passen a detallar diferents exemples de l'ús de l'aplicació Lumify amb REACTS amb les diferents tecnologies avaluades.

Com es pot veure en la Il·lustració 15, amb l'aplicació Lumify i l'ecògraf de Philips connectat en xarxa 4G pública, es constata que amb els tres fluxes de dades (el vídeo local, vídeo remot i ecografia), el sistema avisa que la connectivitat 4G de la xarxa no és prou bona per suportar-ho.

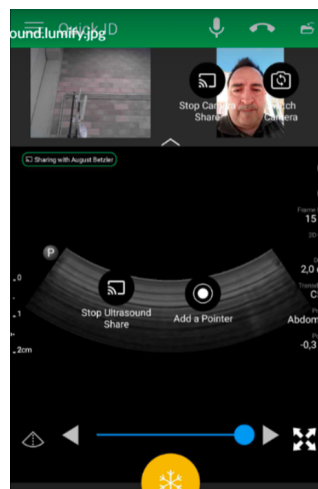
Això indica que la capacitat de la xarxa de pujada i baixada és inferior als requeriments que té

el vídeo amb la màxima resolució. En conseqüència, l'aplicació redueix la resolució. Tot i que aquesta acció assegura que el vídeo es pot transmetre de forma fluida i amb menys talls, la qualitat de vídeo que es percep es veu afectada de forma negativa. Això pot dur a situacions en què, a falta de detalls en la imatge, la capacitat d'anàlisi del professional assistencial o radiòleg es podria reduir, resultant en diagnòstics equivocats o de menys precisió.



Il·lustració 15: Exemple de connectivitat amb 4G

Per altra banda, realitzant les proves amb cobertura 5G, es podia observar que la capacitat de transmissió permetia la gestió dels 3 fluxes de dades de forma simultània (vídeo local, vídeo remot i ecògraf). S'ha comprovat que amb la connexió 5G hi ha la suficient capacitat de transmissió i cobertura durant tota la durada de les proves en la majoria d'ubicacions. No hi ha hagut cap alerta, indicant una qualitat o capacitat inferior, com si ha aparegut en la connectivitat amb la 4G. La diferència de latència de la transmissió d'imatge entre el *smartphone* equipat amb l'ecògraf i el dispositiu d'arribada, que simulava el terminal assistencial, entre 4G i 5G no es podia percebre a simple vista (la diferència es troba en un rang d'aproximadament 10-20 ms).



Il·lustració 16: Exemple de connectivitat amb 5G

Un cop validades les diferents mesures, cal destacar que en algunes ubicacions del territori rural es va observar més velocitat en cobertura de 4G respecte una cobertura 5G amb un senyal dèbil, degut a la poca quantitat d'estacions base 5G desplegades.

El rendiment puntualment superior de la 4G es pot explicar pel fet que la cobertura 4G és molt més àmplia en el territori i que la 4G es pot beneficiar del *carrier aggregation*, el qual permet la transmissió en diferents bandes amb la consegüent millora del rendiment. Per contra, en el cas de cobertura amb estacions base 5G properes, la velocitat és molt superior a la proporcionada per la 4G.

Per tant, queda clar que hi ha una necessitat de desplegar la 5G a les zones rurals per donar millor cobertura i qualitat de servei. A part, es pot assumir que en el futur es faran servir més bandes de la 5G en paral·lel per obtenir els mateixos beneficis que amb el 4G ja establert. En aquest sentit, a curt i mig termini, el desplegament d'estacions base de la 5G serà important també en zones rurals, d'aquesta manera el territori es veurà beneficiat amb una connectivitat sense fils més ràpida i amb un major rendiment.

5.1.2 Resultats rendiment xarxa privada WiFi

Més enllà de l'ús de xarxes cel·lulars com la 4G o la 5G, el WiFi és una tecnologia de xarxa ben establerta d'ús en àmbits privats i públics. El fet que xarxes WiFi siguin en la majoria de casos d'ús lliure i sense limitació de volum de dades a transmetre, les fa una opció valuosa i interessant.

Cal destacar, però, que les xarxes WiFi tendeixen a patir de problemes en escenaris amb múltiples usuaris. Especialment si el tipus d'aplicacions i serveis executats sobre una xarxa WiFi inclouen serveis d'alt consum de dades, per exemple el *streaming* (tant el consum de contingut, com la pujada de contingut), descàrregues de fitxers pesats, etc. La tecnologia no reserva recursos pels usuaris connectats a la xarxa i tots competeixen entre ells per l'accés i l'ús de la xarxa.

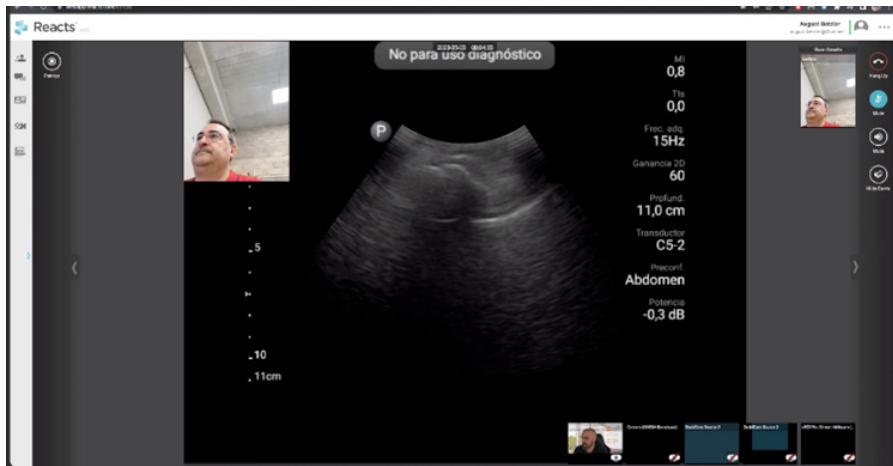
Aquesta problemàtica no apareix quan s'empren xarxes cel·lulars, on l'accés a la xarxa es regula des de les estacions base. Cal destacar aquesta diferència ja que, una xarxa WiFi amb un sol usuari pot donar molt bon rendiment, però es pot deteriorar ràpidament quan aquesta no és d'ús reservat (com és el cas en moltes xarxes WiFi públiques o xarxes privades de domicilis).

Utilitzant el mateix *smartphone* que s'ha fet servir en les proves amb xarxes 4G i 5G, la xarxa WiFi privada del laboratori d'i2CAT ofería un rendiment brut d'aproximadament uns 140 Mbps de baixada i de 60 Mbps de pujada, amb una latència de 11 ms. Aquest rendiment era més que suficient per satisfer els requeriments de l'aplicació REACTS. Tot i així, comparat amb les xarxes cel·lulars, es van detectar alguns problemes, com ara la qualitat de la connexió del WiFi, la qual podia variar en funció de si l'usuari es movia i en quin punt concret de les instal·lacions físiques en les que s'ha desplegat la xarxa s'ubicava l'usuari.

El rang aproximat per una connexió estable i d'alt rendiment amb WiFi és uns 30-50m sense massa obstacles. Degut a l'ús de la banda de 5 GHz de la xarxa WiFi, més enllà d'aquestes distàncies o quan hi ha obstacles entre l'usuari i el punt d'accés WiFi, el rendiment es deteriora de forma notable. Tot i així, atès que ningú més feia servir la xarxa WiFi, els resultats han estat

positius en termes de latència i ample de banda. L'última iteració de WiFi (WiFi 6(E)) optimitza el rendiment, en cas que hi hagi molts usuaris, per millorar l'ampla de banda disponible per cada un d'ells.

Es pot constatar que les xarxes WiFi van poder satisfer els requeriments per poder fer les videotrucades i l'ecografia remota amb bona qualitat i sense interrupcions. Si hi hagués molts usuaris a la xarxa o si s'ubiquessin lluny del punt d'accés de WiFi (en zones amb poca cobertura), el rendiment de la xarxa es deterioraria. Per incrementar la flexibilitat de l'usuari i permetre la mobilitat, és millor fer servir xarxes cel·lulars 4G i especialment 5G.



Il·lustració 17: Exemple de connectivitat amb WiFi

5.2 Resultats de l'escenari 2

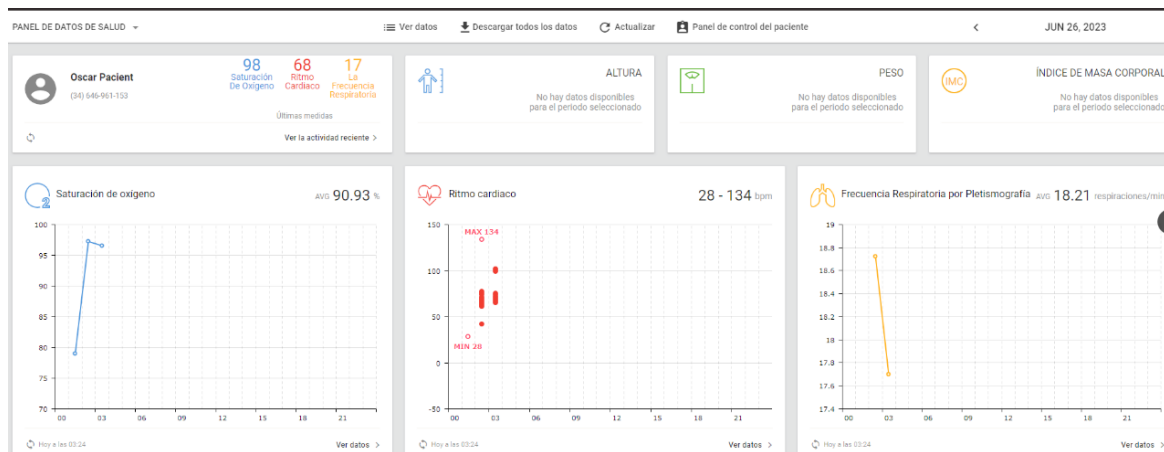
A continuació es mostren alguns exemples de dades mesurades d'un pacient simulat (membre de l'equip d'i2CAT) que es van visualitzar a través de l'aplicació Masimo SafetyNet.

En aquest escenari, els sensors es comunicaven via *bluetooth* amb un dispositiu d'agregació (*Gateway*) que, per una banda, feia d'agregador de la connectivitat *bluetooth* pels sensors i, per l'altra, realitzava la connexió o bé, mitjançant 4G i 5G públic o bé, amb les xarxes privades 5G SA i WiFi del laboratori COEbreLAB 5G amb Internet. A través d'aquesta connexió els sensors podien transmetre les dades on es trobaven els serveis de monitoratge. El *gateway*, per simplicitat, es va implementar amb un *smartphone* que permet connexió *bluetooth* amb els sensors i també permet la connexió 4G, 5G i WiFi, és a dir totes les tecnologies plantejades per l'escenari.

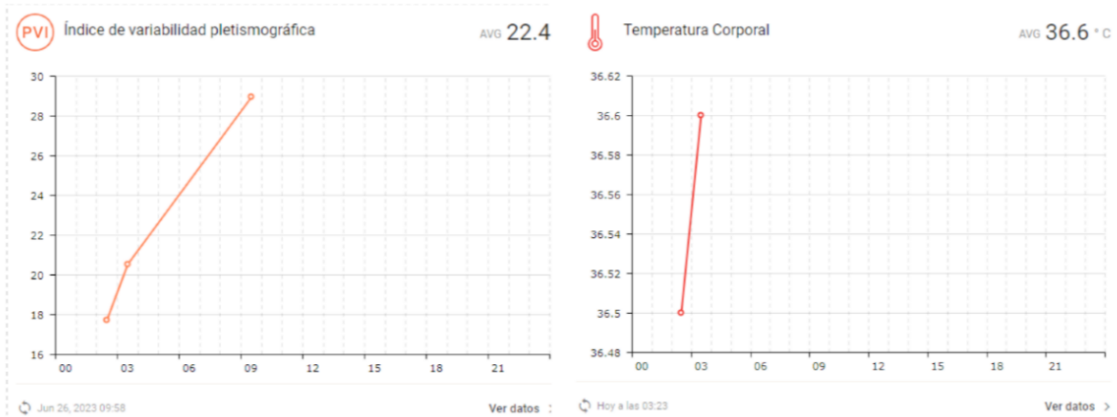
L'aplicació de Masimo disposa d'un tauler de control de les dades que permet configurar diferents filtres i visualitzacions. Aquesta visualització està pensada pel personal sanitari que està supervisant el pacient en remot. En aquest tauler es podia identificar fàcilment si totes les mesures s'havien rebut per tal d'avaluar la continuïtat de les mesures.

L'ús dels aparells de mesura és senzill i poden ser utilitzats per persones sense coneixements sanitaris (pacients a monitoritzar). Tanmateix, s'ha de tenir en compte que cal donar d'alta moltes dades d'un pacient per poder crear el tauler de dades de salut personalitzat. Aquest procés si ha

de ser realitzat per personal sanitari.

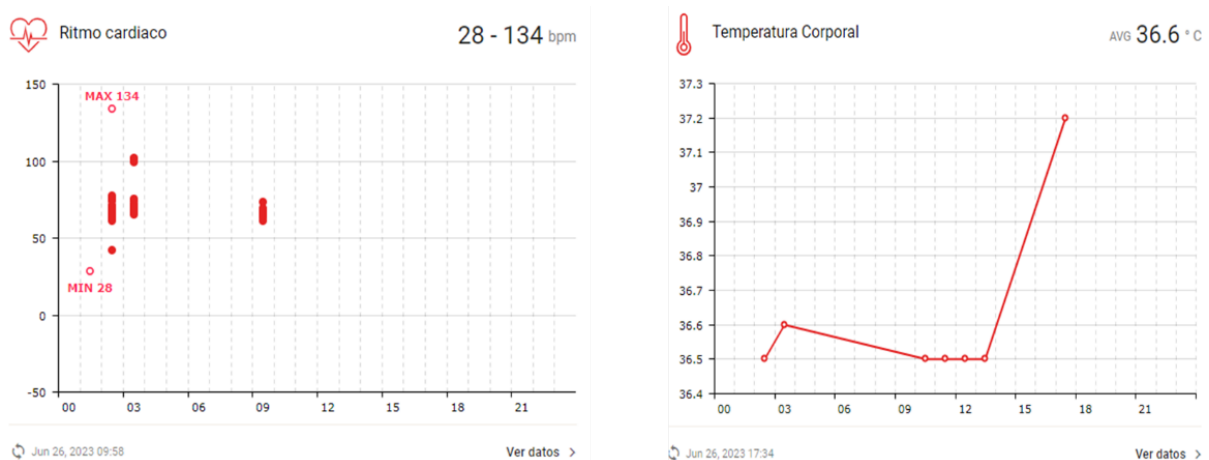


Il·lustració 18: Exemples de mesures de variables com la saturació del oxigen en sang, ritme cardíac i freqüència de respiració



Il·lustració 19: Exemples de mesures de temperatura corporal i índex de variabilitat pletismogràfica

Exemples de mesures de temperatura corporal i índex de variabilitat pletismogràfica.



Il·lustració 20: Exemples de ritme cardíac i temperatura corporal

Col·labora:

Es va comprovar que la taxa de lliurament de les mesures dels sensors a la plataforma era constant i que no es perdien valors. En base a les proves realitzades es pot confirmar que:

- No s'ha produït cap interferència entre la comunicació sense fils dels sensors (*bluetooth*) cap al *gateway*, ni entre la comunicació entre el *gateway* i totes les xarxes avaluades (4G i 5G públic, 5G privat, WiFi), per on s'enviaven les mesures a Internet.
- No s'ha produït cap interferència degut a la transmissió simultània de dades de diferents sensors que transmetien les dades sense fils.

Per tant, es pot concloure que la concurrència de diferents sensors i diferents tecnologies de comunicació sense fils no interfereix en els resultats, els quals s'envien correctament al núvol. També s'observa una continuïtat en la visualització de les dades al tauler de control. Degut als baixos requeriments d'amplada de banda dels sensors, i el fet que no cal una transmissió en temps real entre els sensors i la plataforma, es pot concloure que qualsevol de les tecnologies suportades pel *gateway* és suficient per connectar-se a internet.

El 5G aquí guanya rellevància en el moment que es considera un possible escenari en què es requereix la connexió d'una gran quantitat de nodes *gateway* connectats en una localitat, com podria ser una zona d'alta densitat demogràfica, on coexisteixen moltes tecnologies (e.g., un nucli urbà). La tecnologia 5G, principalment, està dissenyada per permetre una gran quantitat de dispositius connectats al mateix temps i, en un futur, és provable que els mateixos sensors facin servir la 5G en una versió de baix consum, per tant eliminant l'element de *gateway* de l'equació.

5.3 Resultats del procés d'instal·lació i de configuració

En la fase inicial es va realitzar una anàlisi del procés d'instal·lació i configuració de les dues aplicacions:

Lumify de Philips:

El dispositiu incorporava diferents configuracions, incloent diferents tipus d'exploració a realitzar o diferents valors del contrast i de profunditat d'exploració. També integrava el sistema de videoconferència REACTS que permetia poder connectar-se amb un altre especialista mentre es feia l'exploració i, d'aquesta manera, poder interactuar a temps real, transmetent la imatge de la videoconferència i de l'escàner al mateix temps.

El manual d'ús de l'eina és molt extens així que es van realitzar proves de diferents configuracions i, tot i la seva complexitat, amb l'ajuda del manual i amb coneixements mèdics bàsics dels paràmetres que es podien ajustar durant l'exploració, es va comprovar que era una eina molt versàtil i que en poc temps el personal sanitari no expert podria aprendre a utilitzar.

Masimo SafetyNet:

Masimo, en l'app de SafetyNet, va crear un entorn simulat per monitoritzar les dades de pacients. Aquesta tasca l'ha de realitzar un professional mèdic en un cas real.

L'ús de l'aplicació per part del pacient era molt senzilla i automatitzada, per tant, era possible tenir

patrons complexos d'atenció domiciliària amb una intromissió baixa del pacient. L'enviament era automàtic i sense control per part de l'usuari.

És important destacar que quan parlem d'hospital, doctors o pacients estem parlant d'un entorn simulat, ja que a dia d'avui no s'ha tractat amb personal assistencial. Només s'ha comprovat que tecnològicament la solució funciona i la connectivitat respon a les expectatives del pilot.

06

Conclusions

La irrupció de la tecnologia 5G ha representat una revolució significativa en comparació amb la seva predecessora, la 4G. Aquesta nova generació no només proporciona millores en la connectivitat entre diferents dispositius i en l'amplada de banda disponible, sinó que també introdueix avantatges tècnics substancials com una major velocitat de transmissió, menor latència i la capacitat de gestionar un gran volum de dades. Aquestes millores tècniques de la 5G permeten avanços significatius en diversos àmbits, destacant especialment el sector de la salut, on la implementació de la 5G pot facilitar desenvolupaments crucials.

Actualment, la implantació de la 5G es troba en unes primeres fases de desplegament de la 5G NSA però no està sent uniforme i està condicionada per les prioritats dels grans operadors amb xarxa pròpia fent que aquesta sigui irregular i que en àrees amb geografia complicada o rurals, entre altres característiques, la implantació no estigui tan consolidada com en altres àrees.

Per l'escenari d'Ecografia i Videoconferència destacar que la configuració dels equips d'ecografia l'ha de fer un tècnic, atès que tot i ser senzilla cal ajustar-ne alguns detalls, però un cop configurada serveix per atendre a diferents ciutadans sense haver-la de modificar. Cal tenir en compte, també, que la configuració dels paràmetres mèdics i el seu ús només la pot dur a terme un especialista. Aquest fet implica que les solucions aplicables a salut han de ser molt estables a nivell de configuració, i que han de ser professionals experts els que han de realitzar aquesta tasca amb equips prèviament preconfigurats.

A nivell d'interoperabilitat, s'ha observat que la integració dels diferents dispositius amb els Sistemes d'Informació de Salut ha de complir uns estàndards d'interoperabilitat, en el cas d'imatge mèdica (ecografia), seria fàcil d'integrar ja que compleix els estàndards DICOM i permetria la seva integració dins dels Sistemes d'Informació.

L'aplicació té unes necessitats de capacitat de xarxa que fan que no funcioni correctament en tots els entorns rurals, especialment en cobertura 4G amb poca qualitat de senyal. El terminal al qual està connectat l'ecògraf dona la capacitat que pot oferir segons la xarxa de l'entorn en que es troba, però degut a les limitacions d'algunes xarxes hi ha errates en l'enviament de dades en directe. No es poden resoldre el "pixelat" que apareix indicant menys imatges d'enviament en detriment de pèrdues de dades que poden ser claus.

Es constata que amb cobertura 5G la transmissió d'imatges d'ecografia no presenta les alteracions que es constaten amb la 4G. Seria recomanable l'ús de dispositius associats per a la visualització de les imatges, com disposar de monitors o tauletes amb gran capacitat de resolució i que permetin veure les imatges de forma que el professional pugui realitzar el diagnòstic de forma correcta.

L'ecografia mòbil, per tant, emergeix com un cas d'ús clau aplicable a l'àmbit de la salut ja que possibilita la creació d'un CAP mòbil, habilitant un vehicle sanitari equipat amb un ecògraf, que permeti portar aquesta tecnologia directament a les zones que ho requereixin, com ara les zones rurals de les Terres d'Ebre o en àrees amb menys recursos. Aquesta proximitat pot augmentar la detecció precoç de malalties o afeccions que requereixen una resposta ràpida.

En el cas de l'Escenari de Monitoratge de crònics, la configuració dels equips l'ha de fer un tècnic ja que tot i ser senzilla cal ajustar-ne alguns detalls. És important recalcar que cal fer una configuració personalitzada per a cada usuari, això implica una major complexitat per al seu desplegament. Per la seva banda, l'ús domiciliari per part del pacient, un cop configurat, és molt senzill per a persones que tinguin una habilitat tecnològica baixa, queden excloses els ciutadans que no tinguin coneixements bàsics de l'ús de les TIC.

Un altre punt destacat és garantir la interoperabilitat semàntica y sintàctica, ja que els dispositius mèdics han de disposar de la codificació en estàndards com Snomed, i la missatgeria en HL7 o HL7FHIR, en aquest aspecte s'observa una feblesa en el compliment d'aquests requeriments, fet que dificulta la seva integració dins dels Sistemes d'Informació Sanitaris.

Destacar que el volum de dades i l'enviament són baixes, en conseqüència, no s'ha experimentat cap tipus de limitació que pugui dificultar la prova pilot. Alhora, la integració del sistema amb els sistemes hospitalaris existents, presenta dubtes de seguretat en les dades.

En ambdós casos seria recomanable alinear l'equip de ciberseguretat amb les directrius i recomanacions marcades per l'Agència de Ciberseguretat de Catalunya.

En totes les proves dutes a terme, s'observa que les xarxes 5G, siguin públiques o privades, són capaces de satisfer els requeriments de les aplicacions de salut avaluades. El 4G, per altra banda, no pot satisfer els requeriments en tots els punts de mesura. El WiFi pot ser una solució, però té limitacions en termes d'usuaris connectats simultàniament i pateix d'un radi d'abast molt limitat comparat amb les tecnologies cel·lulars. Clarament es manifesta la necessitat de proveir cobertura 5G en zones rurals com a solució òptima per implementar serveis com l'ecografia mòbil o l'atenció sanitària remota en termes més genèrics.

Dit això, s'observa que el cas amb més aplicabilitat a salut és el d'ecografia mòbil, ja que la seva configuració és més estable i disposa d'estàndards per a la integració dins dels Sistemes d'Informació de Salut, encara que s'ha de garantir una cobertura 5G. Això implica que pot ser valuós en situacions en les quals es necessita realitzar un examen ràpid i precís del ciutadà, o quan la mobilitat i la portabilitat són essencials, com en l'atenció mèdica urgent, l'atenció domiciliària, o en consultoris mèdics.

Agraïments

Coordinació dels grups

- Jordi Baucells-Sistemes d'Informació i Comunicació de la Gerència Territorial de l'ICS a les Terres de l'Ebre

Representant dels professionals assistencials de Móra d'Ebre

- Maria Josep Rallo – Directora de l'hospital de Tortosa

Direccions i gerències

- Maria Ferré - Gerent Territorial de l'ICS a les Terres de l'Ebre
- Ester Gavladà - directora de la AP
- Miriam Boira- directora EAP Altebrat
- Pilar Closa - Gerència SalutEbre

Grup de treball

Hospital de Móra d'Ebre

- Pere Freixas – Metge de Medicina interna
- Pilar Vallano –Infermera

CAP Tortosa

- Maria Ferrer Ferrate –Gerent territorial de l'OICS a les Terres de l'Ebre

CAP Flix

- Miquel Faiget - Infermer
- Montserrat Garcia Vaque
- Sonia Loran Valcarcel

Sagessa

- Alvar Vea – Traumatoleg PADES
- Maria Pilar Vallano – Infermera PADES
- Olga Pinyol – Infermera PADES
- Eduardo Ruiz – Metge del PADES

Índex d'il·lustracions

Il·lustració 1: Els principals indicadors de rendiment clau (KPI) de les xarxes cel·lulars són molt superiors amb la 5G que amb la 4G	4
Il·lustració 2: Casos d'ús elementals de la 5G	5
Il·lustració 3: Diferents àmbits necessiten diferents freqüències i proporcionen diferents àrees de cobertura i capacitat	6
Il·lustració 4: La virtualització permet desplegar components de la xarxa més o menys a prop de l'usuari en funció dels requisits del tipus de servei	7
Il·lustració 5: Dispositius i serveis que es poden interconnectar amb la 5G	13
Il·lustració 6: Workflow del projecte	14
Il·lustració 7: Transformació d'escenaris mèdics a escenaris tècnics	24
Il·lustració 8: Proposta de disseny tècnic	25
Il·lustració 9: Escenari de comunicació per videoconferència	26
Il·lustració 10: Escenari de transmissió de dades per ecografia mòbil	27
Il·lustració 11: Disseny escenari de seguiment de variables clíniques	28
Il·lustració 12: Esquema casos d'ús del pilot	28
Il·lustració 13: Esquema de connectivitat dels escenaris tècnics	29
Il·lustració 14: Mapa de punts de proves per l'escenari 1a+1b ubicats en les terres d'Ebre	35
Il·lustració 15: Exemple de connectivitat amb 4G	36
Il·lustració 16: Exemple de connectivitat amb 5G	36
Il·lustració 17: Exemple de connectivitat amb WiFi	38
Il·lustració 18: Exemples de mesures de variables com la saturació del oxigen en sang, ritme cardíac i freqüència de respiració	39
Il·lustració 19: Exemples de mesures de temperatura corporal i índex de variabilitat pletismogràfica	39
Il·lustració 20: Exemples de ritme cardíac i temperatura corporal	39

Índex de taules

Taula 1: Escenaris del pilot.	17
Taula 2: Escenari de seguiment de crònics en fase estable.	18
Taula 3: Seguiment de crònics en fase d'agudització.	19
Taula 4: Escenari de PADES (Programa d'Atenció Domiciliària i Equips de Suport).	20
Taula 5: Escenari hospitalització a domicili Subescenaris de MPOC i insuficiències cardíaca i hepàtica.	21
Taula 6: Escenari d'hospitalització a domicili subescenaris de de pacients al final de la vida.	22
Taula 7: Escenari d'hospitalització a domicili subescenari de pacients amb malaltia infecciosa.	22
Taula 8: Escenari de consultoris mòbils.	23
Taula 9: Ubicacions de les proves de connectivitat	31

Col·labora: