

Informe de resultats



Prova de concepte de transport de mostres biològiques amb dron a la Regió Sanitària Metropolitana Nord

© Fundació TIC Salut Social

Aquest projecte és fruit de la col·laboració entre l'Àrea d'Atenció Digital Personalitzada de la Fundació TIC Salut Social, el Centre de Telecomunicacions i Tecnologies de la Informació, T-Systems, l'Hospital Universitari Germans Trias i Pujol, l'Institut Català de la Salut, el Sistema d'Emergències Mèdiques i el BCN Drone Center.

Persones implicades: Núria Abdón Giménez, Berta Llebot Casajuana, Lluís Sancliment Alcaraz, Francesc Pla Estrada, Núria Sánchez Mercader, Sara Iglesias Lorente, Susana Malumbres Serrano, Álvaro Piedra Aguilera, Maria Antonia Huertas Contreras, Marta Álvarez Álvarez, María Martínez Bujidos, Paula Calomarde Pastor, Vanessa García Bayarri, Silvia Martínez Couselo, Maria Carmen García Martín, Laura Jiménez Añón, Cristian Morales Indiano, Ignacio Blanco Guillermo, Yolanda García González, Marta Gadea Font, Ferran Marcos, Oriol Vallès Fructuoso, Rafael Cáliz Muñoz, Daniel Castillo, Pol Ayats Plana.

Autors del document: Núria Abdón Giménez, Berta Llebot Casajuana, Pau Gallinat Muñoz, Susana Malumbres Serrano, Álvaro Piedra Aguilera, Elionora Peña Lozano.

Edició electrònica: Maig 2025

Aquesta obra està subjecta a una llicència de Reconeixement - No Comercial - Sense Obres Derivades 4.0 de Creative Commons. Se'n permet la reproducció, distribució i comunicació pública sempre que es reconeguin l'autoria i l'editor i no se'n faci un ús comercial. No és permesa la transformació d'aquesta obra per generar una nova obra derivada.

Agraïments

Aquest projecte ha estat possible gràcies a la col·laboració i compromís de totes les entitats participants, a les quals volem expressar el nostre més sincer agraïment.

En primer lloc, volem agrair la participació del Centre de Telecomunicacions i Tecnologies de la Informació i de T-Systems, per la confiança dipositada en el desenvolupament del projecte i la seva implicació en l'obtenció dels recursos necessaris.

Els professionals de l'Hospital Universitari Germans Trias i Pujol, del CAP Sant Fost - Martorelles i de l'Institut Català de la Salut en conjunt han estat fonamentals per a iniciar, avançar i dur a terme la prova de concepte. Han mostrat una gran predisposició i compromís, essent claus en la identificació de les necessitats, el disseny i execució del projecte, així com en l'anàlisi dels resultats de laboratori.

Finalment, volem fer un reconeixement al Sistema d'Emergències Mèdiques i al BCN Drone Center per la seva tasca en la gestió reguladora, així com per la realització i supervisió de les operacions de vol. L'execució del projecte no hauria estat possible sense la seva col·laboració.

Contacte

Correu electrònic: adp@ticsalutsocial.cat

Telèfon: +34 935 532 642

Responsable Àrea Atenció Digital Personalitzada: Núria Abdón Gimenez

Índex

1. Introducció / 6

1.1 Context / 7

1.2 Justificació / 8

1.3 Objectius / 9

1.4 Abast / 9

2. Metodologia / 11

3. Disseny / 13

3.1 Entorn / 14

3.2 Equipament / 15

3.2.1 Equipament de vol / 15

3.2.2 Equipament per garantir la qualitat de les mostres / 16

3.3 Operativa / 17

3.3.1 Operativa de vol / 17

3.3.2 Circuit de les mostres / 19

3.4 Model d'avaluació / 21

3.4.1 Indicadors / 21

3.4.2 Anàlisi dels indicadors / 23

4. Pilotatge / 27

4.1 Flux d'execució / 29

4.2 Condicions meteorològiques / 32

5. Avaluació de resultats / 34

5.1 Resultats generals / 35

5.2 Logística / 36

5.2.1 Operacions / 36

5.2.2 Temps de transport / 38

5.3 Qualitat de les mostres / 41

5.3.1 Hemòlisi / 42

5.3.2 Lactat deshidrogenasa (LDH) / 43

5.3.3 Glucosa / 43

5.4 Impacte ambiental / 43

5.5 Usabilitat / 44

5.5.1 Test SUS / 44

5.5.2 Comentaris generals / 46

5.5.3 Anàlisi DAFO / 47

6. Discussió / 48

6.1 Valoració general / 49

6.2 Propostes de futur / 51

7. Conclusions / 52

8. Referències / 54

Índex de figures

Figura 1 Fases del projecte / 12

Figura 2 Mapa de l'entorn de pilotatge del projecte, obtingut de Google Maps / 14

Figura 3 Dron Eiger de Rigittech utilitzat per a la prova de concepte [8] / 15

Figura 4 Caixa de transport isotèrmica (nevera) de Biomedical Logistics utilitzada per a la prova de concepte / 17

Figura 5 Mapa de l'entorn de pilotatge del projecte, obtingut de la web ENAIRE drones / 18

Figura 6 Etapes principals del circuit de les mostres / 19

Figura 7 Embalatge de les mostres del CAP per al transport amb dron un dels dies del pilotatge / 31

Figura 8 Entrega de les mostres del CAP per al transport amb dron un dels dies del pilotatge / 31

Figura 9 Recollida de les mostres transportades amb dron a l'HUGTiP un dels dies del pilotatge / 31

Figura 10 Aterratge del dron a l'HUGTiP el primer dia de pilotatge (18 de novembre de 2024) / 36

Figura 11 Resultats del test SUS / 44

Figura 12 Percentatge de respostes en els ítems senars de l'escala SUS, on es pregunta sobre la usabilitat del sistema de transport amb dron / 45

Figura 13 Percentatge de respostes en els ítems parells de l'escala SUS, on es pregunta sobre la usabilitat del sistema de transport amb dron / 45

Índex de taules

Taula 1 Flux d'execució de l'estudi de comparació (realitzat cada dia): Passos, accions i agents implicats / 29

Taula 2 Flux d'execució de l'estudi d'estabilitat (realitzat un únic dia): Passos, accions i agents implicats / 30

Taula 3 Dades meteorològiques registrades a l'estació Badalona – Museu del Servei Meteorològic de Catalunya durant la franja horària de vol (09:00 - 11:00) de la primera setmana de pilotatge (dies 18 a 22 de novembre de 2024) / 32

Taula 4 Dades meteorològiques registrades a l'estació Badalona – Museu del Servei Meteorològic de Catalunya durant la franja horària de vol (09:00 - 11:00) de la segona setmana de pilotatge (dies 25 a 29 de novembre de 2024) / 33

Taula 5 Descripció sobre l'execució dels vols amb dron (dia, execució, horari), juntament amb les incidències que es van produir / 37

Taula 6 Temps de transport amb furgoneta i dron. 38

Taula 7 Mitjana dels temps destinats al transport amb furgoneta i dron. 40

Taula 8 Número de mostres hemolitzaes amb furgoneta i dron al llarg de tots els dies de l'estudi de comparació (9 trajectes) / 42

Taula 9 Número de mostres hemolitzaes amb furgoneta, dron i no transportades en l'estudi d'estabilitat (1 trajecte) / 42

Taula 10 Anàlisi DAFO (Debilitats, Amenaces, Fortaleses i Oportunitats) / 47

Índex d'equacions

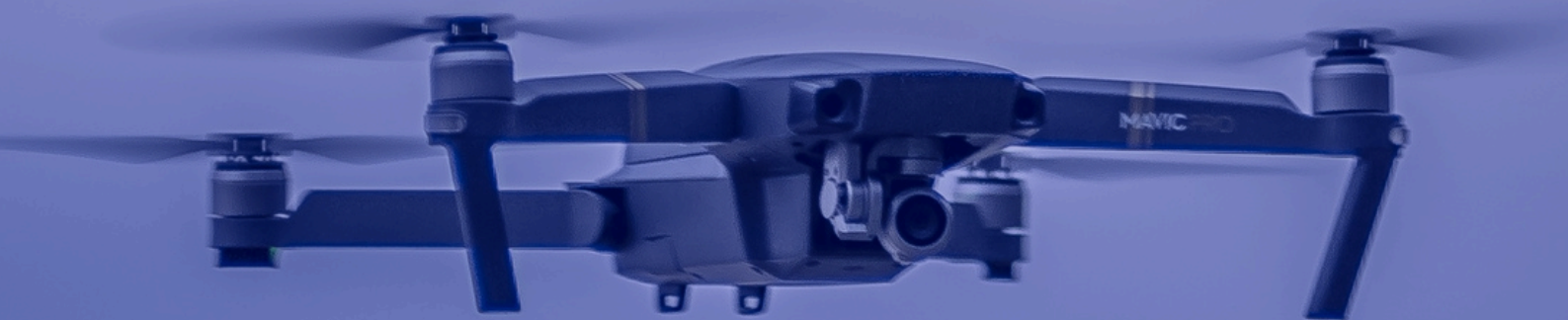
Equació 1 Reducció de temps de transport (%) / 24

Equació 2 Biaix o diferència percentual entre resultats de laboaratori (%) / 24

Equació 3 Biaix o diferència percentual entre resultats de laboaratori (%) / 25

Equació 4 Emissió de CO₂ del dron (g eq.) / 25

Introducció



Els drons, també coneguts com a Vehicles Aeris No Tripulats (VANT), o Unmanned Aerial vehicles (UAV) en la terminologia anglesa, són aeronaus que s'operen sense un pilot humà a bord i que poden ser controlats a distància o funcionar de manera autònoma. Aquesta innovadora tecnologia s'ha començat a emprar en diversos sectors, inclòs el de la salut, on s'ha utilitzat per millorar l'accessibilitat, la rapidesa i l'eficiència en la prestació de serveis sanitaris. A més, el seu ús s'ha estès a la distribució de medicaments, vacunes, mostres biològiques i equipament mèdic, especialment en àrees de difícil accés o amb infraestructures limitades.

Els drons han estat emprats també en la supervisió aèria de situacions d'emergència i en la resposta a desastres naturals. Malgrat els reptes associats a la seva regulació, seguretat i integració amb altres sistemes de transport, el seu ús en el sector sanitari està transformant la manera com es lliuren serveis de salut en diferents parts del món [1].

La prova de concepte que es presenta en aquest informe s'ha centrat en el transport de mostres biològiques amb dron a la Regió Sanitària Metropolitana Nord, amb l'objectiu d'avaluar la viabilitat operativa, assistencial i ambiental del transport amb dron en un entorn sub-urbà més complex que els analitzats anteriorment.

1.1. / Context

El febrer de 2023, la Fundació TIC Salut Social va rebre l'encàrrec de la Comissió d'Innovació del Departament de Salut per dissenyar i modelar la integració de drons al Sistema de Salut de Catalunya. Des de llavors s'ha constituït un Grup de Treball amb participació de les patronals de salut, entitats sanitàries, el Sistema d'Emergències Mèdiques (SEM), i experts en TIC i tecnologia dron [2], s'ha realitzat una infografia explicativa de com utilitzar els drons en l'àmbit sanitari [3], i s'ha redactat un informe d'integració de drons a Salut on s'exposa informació extensa sobre la tecnologia dron i els seus requeriments i impacte en salut [1].

La Fundació, a més, ha mantingut una cerca constant de necessitats per al disseny i execució de nous projectes amb dron. En aquest context, s'han realitzat dues proves pilot a la comarca de la Garrotxa, en l'àmbit de la Medicina de Laboratori, per avaluar la viabilitat del transport de mostres biològiques mitjançant drons.

La primera prova es va dur a terme el maig de 2023, amb un únic vol entre el CAP Garrotxa (Olot) i el Laboratori Clínic de la Fundació Hospital d'Olot i Comarcal de la Garrotxa (LC-FHOCG). Els resultats mostraven: i) una disminució del temps de transport, ii) una disminució de les emissions de CO₂ i iii) la preservació de la qualitat preanalítica de les mostres, fets que van demostrar la viabilitat de realitzar el transport de mostres amb dron [4].

Arrel de l'èxit d'aquesta primera prova, el juny de 2024 es va realitzar una prova de concepte més extensa, amb l'objectiu d'analitzar els diversos aspectes del transport de mostres amb dron. Es van realitzar cinc dies de transport entre el CAP Vall d'en Bas i el LC-FHOCG. Els resultats obtinguts van replicar els prèviament obtinguts, consolidant els beneficis de l'ús de drons en eficiència, qualitat i impacte ambiental. Es va reduir el temps de transport en un 74,3%, l'índex d'hemòlisi en un 47,7% i les emissions de CO₂

en un 98,8%. A més, la usabilitat del dron es va valorar favorablement per part dels professionals implicats, tot i que es van identificar millores tecnològiques i operatives necessàries per optimitzar el servei [5].

El projecte que es presenta en aquest informe integra les conclusions i coneixements obtinguts de les experiències anteriors i amplia l'abast del projecte. En aquest cas, se centra en el transport de mostres de sang i orina a la Regió Sanitària Metropolitana Nord, entre el Barcelonès Nord i el Vallès Oriental, amb

destinació al Laboratori Clínic Metropolitana Nord (LCMN). Aquesta zona sub-urbana presenta nous reptes en comparació amb el transport en zones rurals, especialment pel que fa a l'obtenció de permisos de vol i la coordinació de l'espai aeri, fet que permet continuar avançant en l'anàlisi i definició dels requeriments i procediments necessaris per poder definir la logística de transport sanitari amb dron. D'altra banda, aquest projecte també amplia l'anàlisi de la qualitat de les mostres, que s'analitza mitjançant un estudi clínic.

1.2. / Justificació

L'Hospital Universitari Germans Trias i Pujol (HUGTIP), on es troba el LCMN, està ubicat a Badalona, a la comarca del Barcelonès. La seva àrea d'influència inclou prop d'1,3 milions d'habitants del Barcelonès Nord, Maresme, Vallès Oriental i diversos centres del Vallès Occidental. Un 58,7% de les mostres que s'analitzen al LCMN provenen de Centres d'Atenció Primària (CAP).

La Medicina de Laboratori té un paper clau en el diagnòstic, pronòstic i tractament de la majoria de malalties. Es calcula que el 70% de les decisions clíniques es basen en els resultats analítics que proporcionen els Laboratoris Clínics, fet que la converteix en una eina essencial per a una atenció sanitària integral i de qualitat.

Per garantir la fiabilitat dels resultats analítics, és essencial que les mostres arribin al laboratori en condicions òptimes. La fase preanalítica –que inclou l'extracció, el transport i la preparació de les mostres pel seu anàlisi– té un impacte directe en la qualitat de les mostres i, per tant, en la qualitat dels resultats analítics obtinguts. El temps de transport entre els CAP i els laboratoris, que es realitza amb furgoneta de forma programada, és un dels factors més crítics: els retards en el transport poden alterar determinats paràmetres (p. ex., potassi,

glucosa, entre d'altres) i obligar a repetir extraccions, amb conseqüències negatives tant pel pacient com pels processos assistencials establerts.

Actualment, el transport terrestre programat limita la capacitat de servei, especialment als CAP més allunyats del LCMN, que disposen de menys franja horària per fer extraccions. Això genera desigualtats en l'accés a les analítiques i pot incrementar les llistes d'espera.

L'ús de drons com a sistema de transport biomèdic pot oferir una alternativa més ràpida, eficient i sostenible, que pot contribuir a:

- **Reduir significativament el temps de transport i, per tant, millorar la qualitat preanalítica de les mostres.**
- **Homogeneïtzar les hores de servei entre CAP propers i llunyans, promovent l'equitat territorial.**
- **Permetre un transport més flexible i esglaonat, evitant l'acumulació de mostres i optimitzant els fluxos de treball del laboratori.**
- **Disminuir la petjada de carboni del Sistema de Salut.**

1.3. / Objectius

L'objectiu general d'aquest projecte és **avaluar la utilitat dels drons com a sistema de transport de mostres biològiques entre Centres d'Atenció Primària i centres hospitalaris de la Regió Sanitària Metropolitana Nord**. A partir d'aquesta avaluació es volen establir les bases per a una implementació més ampla i efectiva d'aquesta tecnologia dins del Sistema de Salut de Catalunya. L'objectiu final és facilitar una millora en la qualitat dels serveis sanitaris i, en conseqüència, augmentar la satisfacció dels pacients.

Per això, aquest projecte s'ha centrat en la realització d'una **prova de concepte de transport de mostres biològiques amb drons**, i l'avaluació dels resultats en comparació amb el transport simultani amb furgoneta.

Per valorar la utilitat dels drons, tant pel que fa als aspectes assistencials com als operatius de la ruta, s'han definit els següents objectius específics del projecte:

- **OE1: Objectivar la qualitat de les mostres transportades amb dron** mitjançant la comparació dels seus resultats analítics amb els resultats de les mostres transportades amb furgoneta i amb les mostres no transportades.
- **OE2: Avaluar la logística i usabilitat del transport amb dron**, incloent el temps de transport amb dron i el circuit assistencial dels centres implicats en comparació al transport amb furgoneta.
- **OE3: Avaluar l'impacte mediambiental del transport amb dron** en comparació amb el transport amb furgoneta.
- **OE4: Avaluar la seguretat i la coordinació en les operacions amb drons** per part del Sistema d'Emergències Mèdiques (SEM) per a assegurar la convivència segura entre aeronaus tripulades i no tripulades en l'espai aeri, així com la protecció de les infraestructures aeroportuàries.

1.4. / Abast

Aquest projecte s'ha centrat en la realització d'una prova de concepte de dues setmanes per a avaluar el transport de mostres biològiques amb dron a la Regió Sanitària Metropolitana Nord. L'objectiu ha estat dissenyar i testejar un model operatiu que permeti avançar en la integració d'aquesta tecnologia en l'activitat sanitària habitual, a partir d'una anàlisi exhaustiva de les necessitats tècniques, assistencials i operatives.

La prova ha tingut com a trajecte principal el transport de mostres des del CAP Sant Fost - Martorelles al LCMN, ubicat a l'HUGTIP, per al seu anàlisi (estudi de comparació). Abans del transport de mostres, el dron s'ha desplaçat des de la seva base a l'HUGTIP fins al CAP per lliurar-hi l'embalatge de les mostres. A més, un dia puntual s'ha realitzat un trajecte addicional amb mostres de professionals de l'HUGTIP voluntaris per comparar-ne els resultats amb mostres no transportades, així com amb mostres transportades amb furgoneta (estudi d'estabilitat).

Durant l'estudi de comparació, al llarg de les dues setmanes, s'han inclòs els usuaris del CAP que tenien programada una analítica ordinària i que han acceptat voluntàriament participar en l'estudi. Per a l'estudi d'estabilitat, el dia que s'ha realitzat la comparativa amb mostres no transportades, s'ha comptat amb professionals voluntaris de l'HUGTIP. S'han exclòs de la prova els menors de 18 anys, però no s'han establert altres criteris d'exclusió per gènere o altres característiques demogràfiques. Sí que s'ha exclòs el transport de mostres biològiques procedents d'altres centres o entitats que no fossin el CAP Sant Fost - Martorelles, així com el transport més enllà de les dues setmanes de la prova de concepte.

El transport amb dron no ha substituït el transport habitual en furgoneta, sinó que ha duplicat el servei per permetre la comparació de resultats. Durant l'estudi s'ha extret un duplicat de mostres als pacients del CAP participants i un triplicat als voluntaris de l'HUGTIP per fer les anàlisis comparatives corresponents.

Per garantir la seguretat i coordinació de l'operativa, s'han establert protocols específics de col·laboració entre l'operador de vol i el Sistema d'Emergències Mèdiques (SEM) –com a responsables de la coordinació de les operacions aèries en l'entorn de salut–. Aquests protocols han permès gestionar l'espai aeri compartit, minimitzar riscos i optimitzar la convivència amb altres tipus d'aeronaus, especialment en zones properes a infraestructures crítiques com els aeroports. D'altra banda, també s'han establert protocols de coordinació entre el CAP i l'HUGTIP, assegurant el flux assistencial de la prova.

El projecte ha comptat amb l'aprovació del Comitè Ètic de l'HUGTIP (REF.CEI: PI-24-233) i s'ha dut a terme dins del marc legal previst pel RGPD. No ha implicat cap risc ni actuació invasiva addicional per als pacients, i no s'ha requerit consentiment específic, tot i que s'ha informat explícitament als participants.

Finalment, l'anàlisi dels resultats s'ha dividit segons els objectius establerts: el LCMN ha liderat l'avaluació de la qualitat analítica de les mostres (OE1) –els resultats de la qual es publicaran més extensament en un estudi clínic, però es resumeixen en aquest document–, mentre que la Fundació TIC Salut Social ha analitzat els aspectes logístics, assistencials i ambientals (OE2 i OE3), i el SEM ha avaluat la seguretat i coordinació aèria (OE4) (un resum de la seva avaluació també es presenta en aquest document).

Aquest enfocament ha permès obtenir una visió integral del potencial dels drons en l'àmbit sanitari.

Metodologia



L'execució del projecte s'ha estructurat en quatre fases: i) disseny, ii) pilotatge, iii) avaluació de resultats, i iv) comunicació dels resultats (Figura 1).



Figura 1 Fases del projecte.

Durant tot el projecte s'han realitzat reunions periòdiques i sessions de treball amb tots els membres implicats, assegurant un consens metodològic i la coordinació efectiva entre les parts.

Disseny

En aquesta fase inicial s'ha establert l'entorn de la prova, l'equipament necessari, l'operativa i el model d'avaluació. El disseny de l'entorn, l'equipament i l'operativa s'ha realitzat a partir d'una anàlisi qualitativa de les necessitats detectades, els requeriments tècnics i operatius i l'experiència dels diferents membres del projecte.

El model d'avaluació s'ha definit mitjançant la selecció d'indicadors quantitatius i qualitatius, adoptant un enfocament mixt. Entre els indicadors quantitatius s'han inclòs les mesures temporals, com ara l'hora d'inici i finalització dels trajectes, mentre que dels indicadors qualitatius es destaquen les incidències operatives, el registre de la percepció dels professionals (recollida mitjançant el test SUS, que transforma aquesta percepció en un valor quantitatiu), i una anàlisi DAFO (Debilitats, Amenaces, Fortaleses i Oportunitats).

Pilotatge

La fase de pilotatge s'ha dut a terme seguint el flux d'execució establert. La recollida de dades ha estat responsabilitat dels diferents membres implicats (al CAP, al LCMN i per a l'operativa de vol). Per facilitar el registre dels indicadors de logística, s'han proporcionat taules en Excel tant per a les dades quantitatives (per exemple, l'hora de sortida del dron), com per les qualitatives (com les incidències operatives).

Avaluació de resultats

Per a la fase d'avaluació de resultats s'han emprat les dades obtingudes en el pilotatge i el model d'avaluació dissenyat a la fase inicial, combinant anàlisis descriptives amb una interpretació crítica dels resultats, orientada a identificar punts forts i àrees de millora.

Les tècniques d'anàlisi han inclòs estadístiques descriptives (mitjanes, desviacions estàndard) i anàlisi de contingut per a les dades qualitatives, amb suport de programari estadístic i programari de processament de dades (Python).

Comunicació de resultats

La comunicació de resultats ha estat orientada tant a la difusió interna, mitjançant sessions de retorn amb els agents implicats, com a la difusió externa, a través de mitjans de comunicació (premsa i telenotícies), el present informe i una jornada de presentació (juny de 2025).

Disseny



3

El disseny de la prova de concepte s'ha realitzat de manera rigorosa i estructurada, per garantir-ne la viabilitat, la seguretat i l'adequació a les necessitats sanitàries i logístiques. El disseny abasteix tots els aspectes imprescindibles que cal definir abans de l'execució del pilotatge: i) la definició de l'entorn, ii) la selecció de l'equipament, iii) la planificació de l'operativa i iv) l'establiment del model d'avaluació.

3.1. / Entorn

L'entorn de pilotatge ha consistit en l'espai comprès entre el LCMN, ubicat a l'HUGTIP, i el CAP Sant Fost - Martorelles, que comprenen el Barcelonès Nord i el Vallès Oriental.

L'HUGTIP es troba ubicat a les afores de la ciutat de Badalona, en una zona allunyada del nucli urbà. Tot i que l'HUGTIP es troba en zona sub-urbana, la menor densitat de població d'aquesta zona respecte al nucli urbà de Badalona permet l'obtenció dels permisos de vol amb dron per al transport.

Entre tots els CAP de l'àrea d'influència de l'HUGTIP, el CAP Sant Fost - Martorelles es troba ubicat al límit del nucli urbà de Sant Fost de Campsentelles, fet que permet també evitar sobrevolar zones densament poblades amb dron. Tant el CAP com l'HUGTIP disposen de terrats que faciliten l'enlairament i aterratge del dron evitant desplaçaments innecessaris a peu.

L'espai entre aquests dos centres sanitaris transcorre parcialment pel Parc Natural de la Serralada de Marina, així com per camins i pistes forestals que connecten Badalona amb Sant Fost de Campsentelles. Aquest fet permet realitzar el trajecte en dron entre aquests dos punts evitant zones densament poblades.

La Figura 2 mostra la ubicació dels centres sanitaris. Al centre de la imatge, en vermell, es mostra la ubicació de l'HUGTIP, i a la part superior de la imatge es pot observar la ubicació del CAP, en gris. Donada la naturalesa forestal d'aquesta zona, el trajecte més curt per carretera entre aquests dos punts es realitza per la BV-5011 (Figura 2), un trajecte de 12,8 km front als aproximadament 5 km en línia recta. El trajecte per carretera té una durada estimada de 20 minuts en condicions òptimes [6], tot i que habitualment s'allarga fins als 25 minuts a causa de la congestió en hores punta del matí.



Figura 2 Mapa de l'entorn de pilotatge del projecte, obtingut de Google Maps.

Actualment, les mostres recollides al CAP Sant Fost – Martorelles no arriben directament a l'HUGTIP. Un cop s'han recollit, la ruta de transport continua amb la recollida, per ordre, als CAP La Llagosta, Montornès del Vallès i

Montmeló, abans d'arribar finalment a l'HUGTIP. Aquest recorregut suposa un total de 36,9 km per carretera, amb una durada estimada de 58 minuts en condicions de transit fluïdes [7].

3.2. / Equipament

L'equipament necessari per a la realització del pilotatge ha estat, d'una banda, l'equipament de vol i, d'altra banda, l'equipament per garantir la qualitat de les mostres.

3.2.1 / Equipament de vol

Per tal de complir amb els requeriments del projecte, i garantir les necessitats tècniques i logístiques, s'ha seleccionat un dron elèctric de tipus VTOL (vertical take-off and landing) d'alimentació elèctrica (és a dir, un eVTOL). Més concretament, s'ha escollit el dron Eiger de Rigitex, el mateix que l'utilitzat en la prova de concepte de la Garrotxa, donats els seus bons resultats. La capacitat d'enlairar-se i aterrar verticalment dels drons VTOL permet que operin en espais reduïts i que originalment no estaven destinats a aquest fi. Això els fa molt més adaptables per operar des de terrats dels CAP i hospitals.

El dron Eiger té una capacitat de càrrega de fins a 2,5kg i un volum de càrrega de 15L (o 12L, en cas de dos compartiments). Disposa d'una autonomia efectiva d'uns 80 km, i és capaç de realitzar operacions amb vents de fins a 15 m/s (54 km/h). Té una longitud de 166 cm i una envergadura de 240 cm, i un pes en buit de 10,5 kg.

En la fase de vol vertical (enlairament i aterratge), el dron (Figura 3) es pot enlairar a una velocitat d'uns 12 km/h. En mode horitzontal, el dron pot arribar a una velocitat de creuer de 100 km/h. Durant el vol horitzontal té una gran eficiència energètica. De fet, el dron s'alimenta amb bateries elèctriques, fet que permet reduir les emissions contaminants i, per tant, l'impacte en el medi ambient.

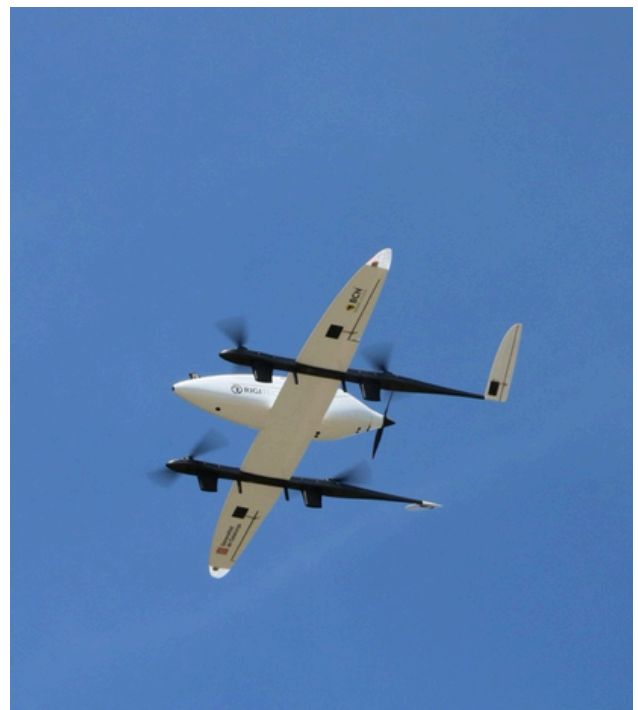


Figura 3 Dron Eiger de Rigitex utilitzat per a la prova de concepte [8].

Adicionalment al dron, ha estat necessari incorporar equipament complementari per garantir-ne l'operativa, el que conforma el sistema UAS¹:

- **Dron eVTOL (Eiger de Rigitex).**
- **Bateries addicionals i carregador.**
- **2 lones per delimitar les zones d'enlairament i aterratge.**
- **Nodes de connexió (un a l'origen i un al destí) per garantir les comunicacions amb l'aeronau.**
- **Ordinadors per controlar els paràmetres de vol i activar mesures d'emergència si fos necessari.**
- **Sistemes de telefonia mòbil per coordinar el pilotatge.**

3.2.2 / Equipament per garantir la qualitat de les mostres

Per garantir que les mostres es transportin de forma adequada dins el compartiment de càrrega del dron i a la furgoneta, s'ha comptat amb el següent equipament de laboratori:

- **Embalatge primari: Tubs, gradetes de porex per sostenir els tubs i plaques de gel per a conservar la temperatura.**
- **Embalatge secundari: 10 bosses d'embalatge homologades per UN3373 de Biomedical Logistics.**
- **Embalatge terciari: Caixa de transport isotèrmica (nevera) de Biomedical Logistics, amb unes dimensions interiors de 40 (l) x 15 (w) x 20 (h) cm i un pes de 250 g (Figura 4).**
- **Sensor de temperatura de tipus USB, de Biomedical Logistics, per assegurar el manteniment de la temperatura entre 5 i 20 °C.**

¹ El terme amb què s'anomena al sistema necessari per a l'operació és Uncrewed Aerial System (UAS) o sistema aeri no tripulat, i inclou el dron i el conjunt d'equipament i infraestructures format per l'aeronau, el radioenllaç i la infraestructura terrestre (antenes i estació de terra) [1].



Figura 4 Caixa de transport isotèrmica (nevera) de Biomedical Logistics utilitzada per a la prova de concepte

3.3. / Operativa

L'operativa del projecte té en compte tant l'operativa de vol com el circuit de les mostres.

3.3.1 / Operativa de vol

L'operativa de vol ha estat lleugerament diferent durant l'estudi de comparació, al llarg de les dues setmanes, i el dia de l'estudi d'estabilitat.

Estudi de comparació

El dron ha estat operat per BCN Drone Center, sota el marc operatiu avalat pel certificat d'operació lleuger de UAS (LUC²). Aquesta certificació permet a l'operador autocertificar-se per realitzar vols amb dron, sempre que es compleixen determinats requisits de densitat de població, la zona de vol i característiques de l'equip.

² El LUC (de l'anglès, light UAS operator certificate, o certificat d'operador d'UAS lleuger) és una certificació atorgada per l'Agència Europea de Seguretat Aèria (EASA) que permet als operadors de drons realitzar operacions de risc mitjà i alt dins de la Unió Europea sense la necessitat de sol·licitar autorització prèvia per a cada vol, sempre que compleixin amb els estàndards i procediments establerts.

Durant les dues setmanes de pilotatge s'ha realitzat un transport diari de mostres biològiques amb dron, previst al voltant de les 9:45, en funció de la disponibilitat de les mostres. Primer, el dron ha volat, al voltant de les 9:30, des de la seva base a l'HUGTIP fins al CAP per portar l'embalatge. Després ha transportat les mostres amb l'embalatge des del CAP Sant Fost - Martorelles a l'HUGTIP. El dia que s'ha realitzat l'estudi d'estabilitat s'ha fet un vol circular amb sortida i arribada al HUGTIP, d'una durada aproximada de 20 minuts.

La base d'operacions s'ha ubicat al terrat de l'HUGTIP, on també es trobaven les bateries, plataformes i la resta d'equipament. Aquesta ubicació es va escollir per la seva viabilitat i proximitat al LCMN. Al CAP, la plataforma d'aterratge també s'ha ubicat al terrat de l'edifici.

La ruta de vol s'ha dissenyat prioritzant la seguretat i tenint en compte les característiques de la zona. El recorregut, tant d'anada com de tornada, ha estat d'uns 7,5 km –una mica superior a la distància en línia recta entre els dos centres–, i ha evitat sobrevolar les zones densament poblades tenint en compte les restriccions de normativa actuals. El trajecte, per tant, ha travessat majoritàriament zones escassament habitades però, tot i així, ha estat necessari obtenir autoritzacions específiques. Entre elles, permisos de vol al Parc Natural de la Serralada de Marina i a altres entitats a causa de la proximitat a zones urbanes i zones d'influència d'aeroports, com els de Barcelona i Sabadell. La Figura 5 il·lustra visualment el volum de restriccions de vol presents a la zona, que es mostren a la imatge en vermell i en groc, i que requereixen permisos de vol.

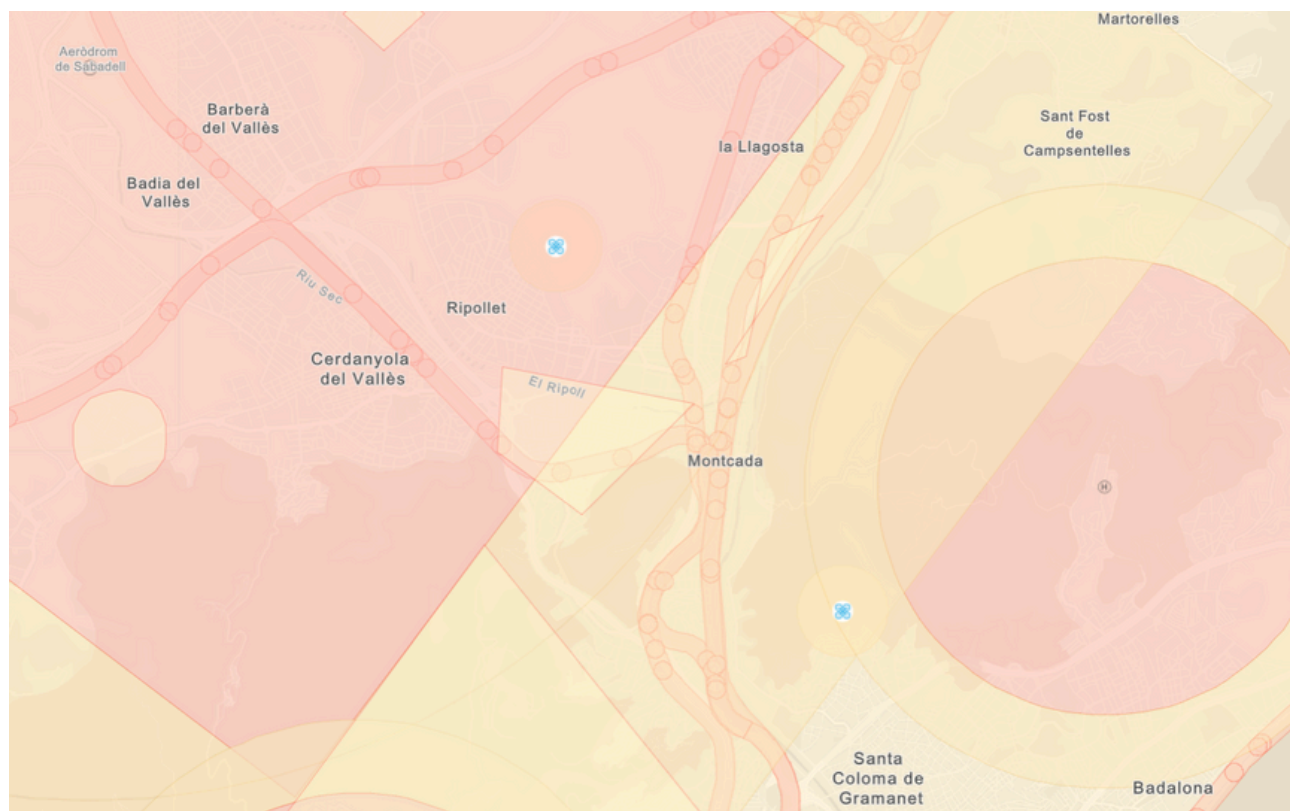


Figura 5 Mapa de l'entorn de pilotatge del projecte, obtingut de la web ENAIRE drones.

Les operacions s'han dut a terme amb reserva prèvia de l'espai aeri, per evitar conflictes amb el trànsit en ruta, i en coordinació amb el SEM, que ha establert protocols *ad hoc* per garantir la seguretat i la coordinació per a realitzar de les missions. Aquest marc ha permès integrar de manera eficient les aeronaus no tripulades, tot garantint la protecció de l'hospital i el seu heliport, i mitigant els riscos associats a l'ús compartit de l'espai aeri i a la proximitat d'infraestructures sanitàries i crítiques.

Estudi d'estabilitat

Per a l'estudi d'estabilitat, s'ha dissenyat un trajecte circular amb sortida i arribada a l'HUGTIP, amb l'objectiu d'avaluar l'impacte del transport en la qualitat preanalítica de les mostres.

Amb la finalitat de simular les condicions d'un transport de llarga durada –com pot ser un trajecte des del CAP més allunyat de l'àrea d'influència de l'HUGTIP–, s'ha optat per un temps de vol continu d'uns 20 minuts. Per obtenir aquesta durada, el dron ha repetit diverses vegades el recorregut entre el CAP Sant Fost – Martorelles i l'HUGTIP, tot i que només ha aterrat a l'HUGTIP un cop completat el temps establert.

3.3.2 / Circuit de les mostres

A banda de l'operativa de vol, la definició del circuit de les mostres ha estat clau per a assegurar uns bons resultats de les proves de concepte.

Estudi de comparació

El transport de mostres dels pacients del CAP Sant Fost – Martorelles fins al LCMN s'ha realitzat diàriament durant les dues setmanes. El seu circuit s'ha dividit en 4 etapes principals: i) extracció, ii) preparació per al transport, iii) transport i iv) anàlisi (Figura 6).



Figura 6 Etapes principals del circuit de les mostres.

Extracció

Als pacients del CAP participants a l'estudi se'ls ha realitzat l'extracció d'un duplicat de les mostres de sang total i/o d'orina sol·licitades a la petició ordinària. Les mostres originals s'han reservat per al transport amb furgoneta, i les duplicades s'han designat per al transport amb dron. La duplictat en la extracció de mostres ha suposat per al pacient, com a màxim, l'extracció de 27 mL addicionals de sang.

Més concretament, les mostres que s'han duplicat per al transport en dron han estat les següents (entre parèntesi s'indica el que s'ha estudiat de cada mostra):

- Orina recent recollida en tub sense additius (per a la realització de la uroanàlisi i sediment).
- Sang total recollida en tub amb anticoagulant EDTA o àcid tetracètic d'etilendiamina (per la realització de l'hemograma).
- Sang total recollida en tub amb citrat de sodi per a l'obtenció posterior de plasma (per a la realització de proves de coagulació).
- Sang total recollida en tub sense additius per a l'obtenció posterior de sèrum (per la realització de les proves bàsiques de bioquímica).

La resta de mostres sol·licitades a la petició no s'han duplicat, i tan sols s'han transportat amb furgoneta.

Preparació per al transport

Les mostres duplicades, un cop extretes, han estat identificades mitjançant un codi de barres duplicat per garantir-ne la traçabilitat. Posteriorment s'han preparat per al transport amb dron amb l'embalatge reglamentari, introduint els tubs en les gradetes, afegint aquest conjunt en les bosses d'embalatge i col·locant les bosses a la caixa de transport isotèrmica per al dron juntament amb plaques de gel. El sensor de temperatura també ha estat introduït dins de les bosses d'embalatge. Finalment, el personal del CAP ha entregat la caixa de transport amb les mostres al personal de l'operació, qui l'ha col·locat dins del compartiment del dron per al seu transport. Un cop el dron s'ha enlairat, el personal del CAP ha avisat al LCMN que les mostres ja estan en camí.

Transport

El transport de les mostres del CAP fins a l'HUGTIP s'ha realitzat tant amb furgoneta com amb dron. Les mostres originals s'han transportat amb furgoneta, realitzant tot el procés tal i com es fa habitualment. Les mostres duplicades s'han transportat amb dron, seguint els protocols establerts en els diferents apartats d'aquest document.

Anàlisi

Quan el dron ha arribat a l'HUGTIP amb les mostres, dos professionals del LCMN les han recollit a la zona d'aterratge i transportat a peu fins al LCMN. Al LCMN, les mostres provinents del dron han estat preparades i analitzades d'acord amb els protocols habituals del laboratori. Els resultats analítics obtinguts d'aquestes mostres no han estat incorporats a les històries clíniques dels pacients.

Estudi d'estabilitat

Pel que fa a les mostres provinents dels professionals de l'HUGTIP voluntaris, recollides un sol dia, se'ls ha extret un triplicat de mostres de sang total i/o d'orina per tal de realitzar la comparativa entre el transport per dron i furgoneta i les mostres no transportades, i avaluar directament l'efecte del transport en la qualitat de les mostres. Aquestes extraccions han suposat, com a màxim, l'extracció de 54 mL addicionals de sang a cada persona voluntària.

Les mostres han estat extretes al mateix LCMN, per tant, en aquest cas, les mostres originals no han estat transportades, i no han sofert cap alteració ni modificació secundària al seu transport.

Per tal de realitzar la comparativa, el segon joc de mostres ha estat transportat amb dron durant uns 20 minuts fins tornar a aterrar, i el tercer amb furgoneta durant 90 minuts, fins a tornar al LCMN.

3.4. / Model d'avaluació

El model d'avaluació s'ha definit amb dues fases:

- i/ Definició d'un conjunt d'indicadors per valorar la utilitat dels drons.
- ii/ Establiment del model d'anàlisi de cada un dels indicadors.

3.4.1 / Indicadors

S'han definit indicadors per valorar la logística (incloent l'operativa i el temps de transport), la qualitat de les mostres, l'impacte ambiental i la usabilitat.

Logística

Pel que fa a la logística, els indicadors s'han organitzat en dues categories segons l'entitat responsable de la seva definició:

i/ Indicadors operatius definits pel SEM, orientats a avaluar el funcionament de les operacions logístiques amb drons:

- Nombre de trajectes
- Coordinació
- Seguretat
- Incidències operatives
- Incidències meteorològiques
- Incidències tècniques

ii/ Indicadors de temps definits per la Fundació TIC Salut Social, per mesurar l'eficiència del transport, tant amb drons com amb furgoneta:

- Hora de lliurament de les mostres per transportar
- Hora de sortida dels vehicles de transport
- Hora d'arribada dels vehicles de transport
- Hora de rebuda de les mostres al laboratori

El SEM, present a la base d'operacions del dron a l'HUGTIP durant tota la prova de concepte per tal de coordinar les operacions, ha registrat a temps real tots els indicadors operatius de cada trajecte.

Les hores de cada trajecte han estat registrades en taules d'Excel per l'operador i els professionals sanitaris, a través de diversos diaris (de vol, de transport i de furgoneta). Aquesta informació ha estat posteriorment enviada als professionals de la Fundació TIC Salut Social.

A més, en el diari de vol s'ha recollit informació rellevant sobre cada operativa, com ara les condicions meteorològiques -que poden afectar el desenvolupament del trajecte-, incidències operatives i altres observacions d'interès.

Qualitat de les mostres

Per a l'avaluació de les mostres transportades amb ambdós mètodes (dron i furgoneta), així com de les mostres control (no transportades), s'han definit diversos indicadors. Entre ells, el nombre de pacients participants a l'estudi i un conjunt de 53 magnituds analítiques per mesurar la qualitat preanalítica de les mostres. D'aquestes magnituds són destacables el grau d'hemòlisi, el lactat deshidrogenasa (LDH), el potassi i la glucosa.

Impacte ambiental

Per avaluar l'impacte ambiental s'han agafat com a indicadors les emissions de CO₂ del dron i la furgoneta.

Usabilitat

La usabilitat s'ha avaluat mitjançant el System Usability Scale (SUS), un cop acabat el pilotatge. Aquest test permet avaluar la usabilitat percebuda o subjectiva d'un dispositiu o sistema tecnològic mitjançant deu preguntes amb resposta en forma d'escala Likert. Aquesta escala presenta cinc possibles respostes ("Totalment en desacord", "En desacord", "Neutral", "D'acord" i "Totalment d'acord") a cada pregunta, i els assigna un valor numèric entre l'1 i el 5, respectivament.

El test ha estat respost per part dels professionals sanitaris participants en la gestió o l'execució del circuit de les mostres amb dron i els professionals del SEM implicats en la coordinació amb l'operador. El test s'ha proporcionat als professionals mitjançant un formulari en línia, accessible des de l'ordinador i els dispositius mòbils, on també s'ha inclòs un apartat de comentaris.

Per tal de valorar de forma més extensiva la prova de concepte, s'ha realitzat una sessió de treball de valoració de la prova amb els professionals sanitaris, d'una banda, i els operadors i el SEM, de l'altra. Això ha permès identificar els factors clau que poden condicionar la implementació del transport de mostres biològiques amb dron.

3.4.2 / Anàlisi dels indicadors

Logística

Per part del SEM, primerament s'han avaluat el nombre total de trajectes i la coordinació amb l'operador de forma qualitativa. Posteriorment s'ha realitzat una valoració resum de la seguretat de l'operativa, i finalment s'han avaluat les incidències operatives, meteorològiques i tècniques en cada trajecte de la prova de concepte. Tots aquests resultats han estat plasmats en un informe intern.

Per part de la Fundació TIC Salut Social s'ha avaluat el temps de transport. El temps de trajecte de cada dia de transport s'han obtingut inicialment a partir de l'hora de sortida i l'hora d'arribada de cada vehicle. S'ha calculat mitjana i la desviació estàndard del temps per a cada mètode de transport.

El percentatge de reducció del temps mitjà de transport amb dron en comparació amb furgoneta s'ha calculat de dues maneres. Primerament s'ha fet una aproximació de la reducció de temps de transport agafant temps teòrics de trajecte en furgoneta entre el CAP Sant Fost - Martorelles i l'HUGTIP i el temps mitjà de transport en dron obtingut entre els dos punts. Després, donat que la furgoneta passa per 3 CAP addicionals abans d'arribar l'HUGTIP i, per tant, el temps de transport entre el CAP Sant Fost – Martorelles i l'HUGTIP no es pot comparar directament amb el temps de transport en dron, la comparativa s'ha realitzat calculant el temps mitjà per quilòmetre amb dron i amb furgoneta. En ambdós casos, la reducció de temps s'ha calculat amb l'Equació 1.

$$\text{Reducció temps (\%)} = \frac{\bar{t}_{dron} - \bar{t}_{furgoneta}}{\bar{t}_{furgoneta}} \cdot 100 \quad (\text{Equació 1})$$

Posteriorment s'ha avaluat el temps total destinat al transport, calculant o aproximant el temps fins a la sortida del vehicle des de la seva arribada al CAP, el temps d'aturada en altres CAP (pel cas de la furgoneta) i el temps fins a l'arribada de les mostres al LCMN des que arriba el vehicle a l'HUGTIP.

Qualitat de les mostres

Pel que fa a la qualitat de les mostres, en primer lloc s'ha realitzat el recompte de pacients participants en cada estudi. Per a cada pacient, les 53 magnituds de laboratori s'han analitzat seguint el procediment habitual, mitjançant els diferents mètodes analítics i analitzadors.

S'ha avaluat la normalitat de les distribucions mitjançant proves estadístiques específiques. Les dades paramètriques i no paramètriques per a la concentració de cada analit s'han representat com a mitjana $\pm$ desviació estàndard (mitjana $\pm$ SD) o com a mediana amb rang interquartílic (mitjana $\pm$ IQR), respectivament. Les diferències percentuals (biaix) s'han calculat per a cada paràmetre utilitzant la fórmula següent (Equació 2). C_n representa la concentració de l'analit en mostres transportades per carretera (estudi de comparació) o no transportades (estudi d'estabilitat), i C_x es refereix a la concentració d'analit en mostres transportades per dron (estudi de comparació i anàlisi d'estabilitat) o per carretera (estudi d'estabilitat).

$$\text{Biaix (\%)} = \frac{C_x - C_n}{C_n} \cdot 100 \quad (\text{Equació 2})$$

La mitjana dels biaixos s'ha comparat amb el valor de referència del canvi (RCV), que es defineix com la diferència crítica que s'ha de superar entre dos resultats seqüencials perquè sigui considerat com a un canvi significatiu. El càlcul del RCV s'ha realitzat tal com es descriu en la literatura [9].

Per tal de comparar les mitjanes de les mostres transportades per dron amb les mostres transportades per carretera, s'han fet servir t-test per a mostres aparellades. D'altra banda, les anàlisis estadístiques s'han realitzat utilitzant la versió 19.6 de MedCalc³.

Per avaluar l'associació entre el grau d'hemòlisi i el mètode de transport ha fet servir la prova d'independència chi-quadrat ($p < 0,05$). L'anàlisi ha dut a terme en un entorn de Google Collaboratory utilitzant Python i biblioteques rellevants (Pandas, NumPy i SciPy).

Impacte ambiental

L'impacte ambiental del dron i la furgoneta s'ha avaluat considerant només les emissions generades durant el trajecte. És a dir, s'han exclòs de l'anàlisi les emissions de fabricació i el manteniment del dron i la furgoneta, la càrrega, etc.

Les emissions de la furgoneta s'han calculat amb la calculadora de carboni Cero CO₂ [9]. Per introduir-hi més precisió, a la calculadora s'hi ha introduït la distància recorreguda en 100 trajectes, i després s'ha dividit el CO₂ resultant entre 100.

Per altra banda, per calcular les emissions del dron per trajecte s'han emprat les Equacions 3 i 4. A l'Equació 4 s'ha emprat l'últim valor del factor d'emissió d'energia elèctrica registrat (2023), que té un valor de 260 g CO₂ eq/KWh [10]. El resultat final, obtingut també a partir de l'Equació 4, s'expressa en grams de diòxid de carboni equivalent (g de CO₂ eq.).

$$Consum_{dron(kWh)} = I_{consumida(A/h)} * Voltatge_{Bateries(V)} * \bar{t}_{(h)}$$

(Equació 3)

$$Emissió_{CO_2\ dron(g\ eq.)} = Factor_{emissió\ energia\ elèctrica(g/kWh)} * Consum_{(kWh)}$$

(Equació 4)

³ MedCalc Software, Oostende, Bèlgica

Usabilitat

La puntuació final del test SUS s'ha obtingut a partir dels valors numèrics de cada pregunta obtingudes de l'escala Likert. Per a obtenir-la, s'han realitzat els càlculs següents per a les respostes de cada professional, el que ha permès obtenir una puntuació final entre 0 i 100:

1. Per als valors numèrics obtinguts a les preguntes imparelles: Valor – 1.
2. Per als valors numèrics obtinguts a les preguntes parelles: 5 – Valor.
3. Suma de tots els resultats anteriors.
4. Multiplicació de la suma total per 2,5.

Posteriorment s'ha calculat la mitjana general (i desviació estàndard) de totes les puntuacions finals obtingudes, així com la mitjana (i desviació estàndard) per cada un dels grups de professionals. S'han avaluat els resultats tenint en compte els rangs d'usabilitat SUS: no acceptable entre 0 i 50, marginal entre 50 i 68 (o 70), i acceptable entre 68 (o 70) i 100. També s'han analitzat els comentaris rebuts.

D'altra banda, els comentaris obtinguts de les sessions de treball de valoració de la prova amb els professionals sanitaris, els operadors i el SEM s'han plasmat en una anàlisi estructurada DAFO (Debilitats, Amenaces, Fortaleses i Oportunitats).

Pilotatge

4

El pilotatge s'ha dut a terme durant les dues darreres setmanes de novembre de 2024, més concretament, entre els dies 18 i 29 de novembre del 2024, comptant només els dies hàbils. L'estudi d'estabilitat s'ha realitzat el dia 28 de novembre de 2024. Per tal d'assegurar la correcta realització del pilotatge, s'ha definit un protocol d'execució de les diverses tasques del procés logístic, de forma coordinada. També s'ha monitoritzat la meteorologia al llarg de les dues setmanes de pilotatge.



4.1. / Flux d'execució

El flux d'execució de cada un dels estudis es mostra a continuació (Taules 1 i 2).

Taula 1 Flux d'execució de l'estudi de comparació (realitzat cada dia): Passos, accions i agents implicats.

PAS	ACCIÓ	AGENTS
1	/ Preparació del dron per a les operacions.	  
2	/ Reclutament de participants al projecte entre els usuaris que han anat al CAP per extreure's mostres de sang total i/o orina.	
3	/ Firma del consentiment informat.	
4	/ Extracció i etiquetatge de mostres segons la petició ordinària (MO, mostres originals) i mostres duplicades (MD) de 8:00 a 9:00 o 9:30.	
5	/ Avís a l'operador del dron quan s'han finalitzat les extraccions.	
6	/ Trajecte en dron de l'HUGTIP al CAP per transportar l'embalatge (al voltant de les 9:30). Registre del diari de vol (hora sortida i arribada, etc.). Trucada al CAP per avisar que el dron està arribant.	  
7	/ Embalatge de les MO i MD amb el sensor.	
8	/ Entrega de les MO per al transport en furgoneta. Registre de l'hora al diari de transport. Entrega de les MD a l'operador per al transport en dron. Registre de l'hora i el temps de dedicació al diari de transport. Trucada al LCMN per avisar que les mostres començaran el trajecte.	
9	/ Transport de les mostres amb furgoneta (MO) i dron (MD) del CAP a l'HUGTIP. Registre del diari de furgoneta (hora sortida i arribada, etc.). Registre del diari de vol (hora enlairament i aterratge, etc.).	   
10	/ Recollida de les MD a la zona d'aterratge del dron i transport al LCMN. Registre de l'hora d'arribada de les MD al LCMN i el temps de dedicació al diari de transport. Registre de l'hora d'arribada de les MO al LCMN.	
11	/ Anàlisi de les MO i les MD d'acord amb els protocols habituals del laboratori.	
12	/ Registre dels resultats de les MD i MF.	



Operator
dron



Professionals
CAP



Professionals
LCMN



SEM



Usuaris
CAP



Seguretat
HUGTIP

Taula 2 Flux d'execució de l'estudi de comparació (realitzat cada dia): Passos, accions i agents implicats.

PAS	ACCIÓ	AGENTS
1	/ Preparació del dron per a les operacions.	  
2	/ Reclutament de participants al projecte entre usuaris que han anat a l'HUGTIP per extreure's mostres de sang total i/o orina.	
3	/ Firma del consentiment informat.	
4	/ Extracció i etiquetatge de mostres segons la petició ordinària (MO, mostres originals), mostres per al transport en dron (MD) i mostres per al transport en furgoneta (MF).	
5	/ Avís a l'operador del dron quan s'han finalitzat les extraccions.	
6	/ Anàlisi de les MO d'acord amb els protocols habituals del laboratori.	
7	/ Embalatge de les MO i MD amb el sensor.	
8	/ Entrega de les MD a l'operador per al transport en dron. Registre de l'hora i el temps de dedicació al diari de transport. Entrega de les MF per al transport en furgoneta. Registre de l'hora al diari de transport.	  
9	/ Transport de les mostres amb dron (MD) durant uns 20 min. Registre del diari de vol (hora enlairament i aterratge, etc.). Transport de les mostres amb furgoneta (MF) durant uns 120 min. Registre del diari de furgoneta (hora sortida i arribada, etc.).	
10	/ Recollida de les MD a la zona d'aterratge del dron i transport al LCMN. Registre de l'hora d'arribada de les MD i MF al LCMN.	
11	/ Anàlisi de les MD i les MF d'acord amb els protocols habituals del laboratori.	
12	/ Registre dels resultats de les MD i MF.	



Operador
dron



Professionals
LCMN



SEM



Usuaris
HUGTIP



Seguretat
HUGTIP

A continuació es mostren 3 imatges obtingudes durant el pilotatge. La Figura 7 mostra l'embalatge primari i secundari de les mostres recollides al CAP per al transport amb dron (pas 7 a la Taula 1). La Figura 8 mostra l'entrega d'aquestes mostres per al transport amb dron (pas 8 a la Taula 1). La Figura 9 mostra la recollida de les mostres ja transportades amb dron (pas 10 a la Taula 1).



Figura 7 Embalatge de les mostres del CAP per al transport amb dron un dels dies del pilotatge.



Figura 8 Entrega de les mostres del CAP per al transport amb dron un dels dies del pilotatge.



Figura 9 Recollida de les mostres transportades amb dron a l'HUGTiP un dels dies del pilotatge.

4.2. / Condicions meteorològiques

Seguidament es presenten les dades meteorològiques corresponents als dies i hores de pilotatge, segons els registres del Servei Meteorològic de Catalunya.

Les Taules 3 i 4 recullen una selecció dels paràmetres meteorològics més rellevants per al desenvolupament del transport, registrats a l'estació meteorològica més propera a l'HUGTiP i al LCMN. El dron s'ha enlairat des d'aquest punt per dirigir-se al CAP, i hi ha tornat posteriorment amb les mostres.

La Taula 3 mostra les dades de la primera setmana de pilotatge, mentre que la Taula 4 recull les de la segona setmana. Com que la majoria dels vols s'han realitzat entre les 09:00 i les 11:00 h, s'han recollit els valors corresponents a dues franges horàries específiques: de 9:00 a 9:30 i de 10:30 a 11:00. Aquesta selecció permet observar l'evolució de les condicions meteorològiques durant l'execució de les operacions.

Taula 3 Dades meteorològiques registrades a l'estació Badalona-Museu del Servei Meteorològic de Catalunya durant la franja horària de vol (09:00 - 11:00) de la primera setmana de pilotatge (dies 18 a 22 de novembre de 2024).

	18/11/2024	19/11/2024	20/11/2024	21/11/2024	22/11/2024
Velocitat mitjana del vent (km/h)	12,2 / 12,6	5,4 / 5,8	32,4 / 33,1	7,9 / 19,8	20,5 / 10,4
Ratxa màxima del vent (km/h)	20,2 / 19,8	9,4 / 13,0	58,7 ^{a,b} / 56,2 ^{a,b}	19,1 / 45,7 ^c	38,5 ^c / 20,2
Precipitació (mm)	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0

^aAlerta Nivell 2/6 (perill moderat).
^bAquests valors superen el límit de vent tolerat pel dron Eiger de Rigitech, fixat en 54 km/h.
^cAquests valors són elevats, propers al límit de vent tolerat pel dron Eiger de Rigitech, fixat en 54 km/h.

Com es pot observar, els dies 20, 21 i 22 de novembre el vent va ser prou elevat. De fet, el dia 20 el Servei Meteorològic de Catalunya va llançar una alerta de nivell 2/6 (perill moderat), i es va superar el límit de vent tolerat pel dron Eiger de Rigitech, fixat en 54 km/h.

Taula 4 Dades meteorològiques registrades a l'estació Badalona-Museu del Servei Meteorològic de Catalunya durant la franja horària de vol (09:00 - 11:00) de la primera setmana de pilotatge (dies 18 a 22 de novembre de 2024).

	25/11/2024	26/11/2024	27/11/2024	28/11/2024	29/11/2024
Velocitat mitjana del vent (km/h)	4,7 / 1,1	15,1 / 13,0	16,2 / 12,6	9,7 / 13,3	15,1 / 15,8
Ratxa màxima del vent (km/h)	10,1 / 4,3	24,1 / 21,6	26,3 / 22,0	19,4 / 22,3	25,2 / 27,0
Precipitació (mm)	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0

Tot i que Sant Fost de Campsentelles, on s'ubica el CAP, no disposa d'estació meteorològica pròpia, es troba relativament a prop de l'estació de Badalona. A més, les mesures in situ de velocitat mitjana i ratxes de vent han mostrat una concordança raonable amb els valors registrats en aquesta estació. Per aquest motiu, les dades de l'estació de Badalona (recollides a les Taules 3 i 4) es poden considerar una referència vàlida per descriure les condicions meteorològiques al CAP durant els dies de pilotatge.

Avaluació de resultats



Aquest apartat descriu els resultats obtinguts de l'avaluació del projecte. Primerament es dona una visió general dels resultats, i després s'exposen en detall els resultats separats en les quatre dimensions dels indicadors (logística, qualitat de les mostres, impacte ambiental i usabilitat).

5.1. / Resultats generals

El transport de mostres amb dron s'ha realitzat 9 dels 10 dies programats, de manera segura i coordinada. En total, s'han realitzat 20 vols amb dron.

Durant els 9 dies s'han transportat 412 mostres de sang total i d'orina de 140 pacients. Per a l'estudi de comparació s'han transportat 58 mostres d'orina i 226 de sang de 108 pacients en total, i per a l'estudi d'estabilitat, 32 d'orina i 96 de sang de 32 pacients en total. En ambdós casos, per tant, s'han recollit entre dos i tres tipus de mostres diferents per pacient.

20 trajectes
amb dron

412 mostres
de sang total i d'orina
transportades amb dron

En l'estudi de comparació, el dron ha transportat diàriament entre 2,2 i 2,5 kg de pes incloent-hi les mostres i la nevera de transport. En el cas de l'estudi d'estabilitat, la càrrega ha estat de 3 kg.

En l'estudi de comparació, el temps de transport per quilòmetre s'ha reduït en un 72,3% respecte al vehicle convencional, i les emissions de CO₂ associades als trajectes s'han reduït en un 99,2%. El nivell d'hemòlisi de les mostres s'ha mantingut dins dels rangs acceptables: la necessitat de repetició d'extraccions per l'hemòlisi provocada pel transport ha estat residual.

72,3%
Reducció del temps
de transport per km

99,2%
Reducció del CO₂
durant el transport

Pel que fa a l'avaluació de la usabilitat, les avantatges de l'ús de drons s'han valorat positivament. Tot i així, els resultats posen de manifest la necessitat de seguir avançant en la implementació d'infraestructura per poder integrar els drons al Sistema de Salut de forma òptima.

5.2. / Logística

5.2.1 / Operacions

Dels 10 dies de pilotatge previstos per a l'estudi de comparació durant les dues setmanes, se n'han realitzat 9, amb un total de 18 vols tenint en compte l'anada i la tornada. Comptant el vol de 20 minuts per a l'estudi d'estabilitat i un dia de vol de prova, s'han realitzat 20 vols. La Figura 10 mostra l'aterratge del dron durant el pilotatge.

**20 trajectes
amb dron**



Figura 10 Aterratge del dron a l'HUGTiP el primer dia de pilotatge (18 de novembre de 2024).

Segons la valoració del SEM, les operacions amb dron s'han dut a terme de forma segura i controlada, gestionant el trànsit aeri i les incidències menors. La coordinació amb el SEM també ha estat valorada favorablement.

Tot i així, s'han produït algunes incidències degut a les condicions meteorològiques (alienes a l'operador, però amb molt baixa incidència a Catalunya) i condicions tècniques no favorables (principalment la pèrdua de senyal GNSS, evitable si es preveu). Aquestes incidències han provocat endarreriments de l'horari de vol. Si considerem un marge de 10 minuts com a acceptable per complir l'horari de transport previst, el dron ha completat els trajectes dins d'aquest marge en 6 dels 10 dies de la prova de concepte. La Taula 5 mostra informació més detallada d'aquests fets.

Taula 5 Descripció sobre l'execució dels vols amb dron (dia, execució, horari), juntament amb les incidències que es van produir.

Dia	Execució del vol	Horari	Comentari
18/11/2024	Sí	Horari previst.	Helicòpter fora del pla de vol que va caldre controlar en la trajectòria.
19/11/2024	Sí	Horari previst.	Avioneta prop de la trajectòria.
20/11/2024	No	-	Vol cancel·lat a les 9:04 per vent fort (alerta Meteocat nivell 2/6).
21/11/2024	Sí	Horari previst.	Vent fort, prop del màxim establert per Rigitex. Es va volar a primera hora perquè les ratxes màximes eren menors.
22/11/2024	Sí	Endarreriment de l'enlairament des de l'HUGTIP almenys 45 min.	Vent fort, prop del màxim establert per Rigitex. Es va endarrerir l'enlairament perquè les ratxes anaven decaient amb l'hora.
25/11/2024	Sí	Horari previst.	-
26/11/2024	Sí	Horari previst.	-
27/11/2024	Sí	Endarreriment de l'enlairament des de l'HUGTIP uns 10 minuts.	Avioneta prop de la trajectòria.
28/11/2024	Sí	Endarreriment de l'enlairament des del CAP uns 30 minuts.	Incidència tècnica: pèrdua de senyal GNSS (recepció satel·lital) després del canvi de bateria del dron.
29/11/2024	Sí	Endarreriment de l'enlairament des de l'HUGTIP almenys 50 min, i des del CAP uns 15 minuts.	Incidència tècnica: pèrdua de senyal GNSS (recepció satel·lital) després del canvi de bateria del dron.

Durant les operacions no s'han registrat incidències operatives, però sí situacions de trànsit aeri per aeronaus tripulades que s'han hagut de tenir en compte en l'operativa, els dies 18, 19 i 27 de novembre. El dia 27 ha estat necessari endarrerir l'enlairament del dron com a mesura de precaució.

Pel que fa a les incidències meteorològiques, el dia 20 de novembre es va haver de cancel·lar l'operació a causa de ventades, per les quals Meteocat va enviar una alerta de nivell 2/6. A més, el dia 22 de novembre es va haver d'endarrerir el vol almenys 45 minuts també pel fort vent, però més tard es va poder realitzar l'operació.

Respecte a les incidències tècniques, hi va haver pèrdues de senyal GNSS (de satèl·lit) després del canvi de bateria en els punts d'enlairament (tant al CAP com a l'HUGTIP) els dies 28 i 29 de novembre, degut a rebots del senyal GNSS amb els edificis (efecte multipath). Aquest tipus d'interferències són habituals en entorns urbans amb edificis alts, i impedeixen l'enlairament del dron fins que es resol la incidència. Aquest fet va provocar un endarreriment de més de 30 minuts el dia 29 de novembre però, un cop solucionat, en cap cas es va perdre la senyal durant el vol.

5.2.2 / Temps de transport

Per avaluar els beneficis temporals del transport amb dron cal tenir en compte que dron i furgoneta operen en condicions diferents: la furgoneta segueix una ruta amb diverses parades –concretament en tres CAP addicionals des del punt d'origen fins a l'HUGTIP–, mentre que el dron realitza trajectes directes.

Per això, per aproximar els valors de transport en furgoneta, s'ha aplicat un ajust als temps registrats, descomptant-hi 15 minuts corresponents a les aturades operatives (5 minuts per CAP) per aparcar, recollir les mostres i reprendre la marxa.

A la Taula 6 es mostren els temps de transport diaris amb furgoneta i dron durant l'estudi de comparació.

Taula 6 Temps de transport amb furgoneta i dron.

Dia	Furgoneta	Dron
18/11/2024	1h 40 min	6 min 22 s
19/11/2024	1h 40 min	6 min 16 s
20/11/2024	-	-
21/11/2024	1h 53 min	6 min 3 s
22/11/2024	1h 40 min	6 min 12 s
25/11/2024	2h 4 min	6 min 10 s
26/11/2024	1h 57 min	6 min 17 s
27/11/2024	1h 54 min	6 min 5 s
28/11/2024	1h 49 min	6 min 8 s
29/11/2024	1h 57 min	6 min 27 s

Per això, per aproximar els valors de transport en furgoneta, s'ha aplicat un ajust als temps registrats, descomptant-hi 15 minuts corresponents a les aturades operatives (5 minuts per CAP) per aparcar, recollir les mostres i reprendre la marxa.

A la Taula 6 es mostren els temps de transport diaris amb furgoneta i dron durant l'estudi de comparació.

La mitjana de temps de transport amb furgoneta és d'1 hora, 50 minuts i 27 segons (± 8 min 47 s), gairebé dues vegades el temps teòric de trajecte (58 min). Això fa evidents les congestions de trànsit durant les hores de transport. Per contra, de mitjana, el transport amb dron s'ha realitzat amb 6 minuts i 13 segons (± 8 s), un temps que es correspon amb l'estimat per part de l'operador de vol.

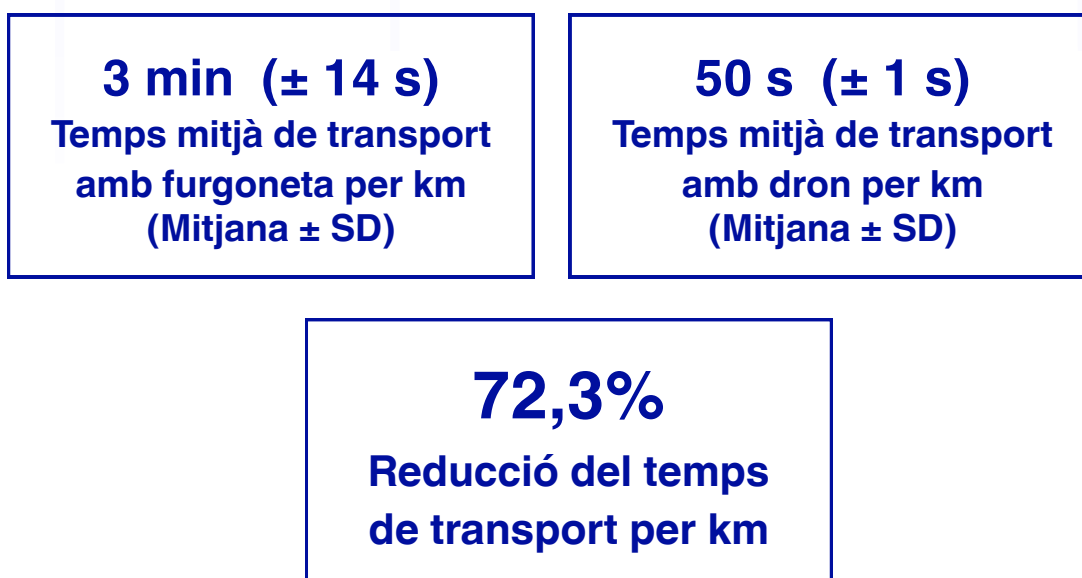
1h 50 min 27 s (± 8 min 47 s) Temps mitjà de transport amb furgoneta (Mitjana $\pm$ SD)	6 min 13 s (± 8 s) Temps mitjà de transport amb dron (Mitjana $\pm$ SD)
---	---

SD: Desviació estàndard o típica

Per calcular la reducció del temps de transport amb dron s'han considerat tres escenaris. En primer lloc, si es comparen directament els dos temps mitjans anteriors, s'obté una reducció del 94,4%. Aquest valor reflecteix només la reducció de temps de transport que experimenten les mostres del CAP Sant Fost – Martorelles si la furgoneta fa les diverses parades en altres CAP i el dron opera directament. Això és possible en un escenari en què el dron operi en forma d'estrella, és a dir, que cada cop que reculli les mostres d'un CAP les porti a l'HUGTIP directament. Tot i així, la reducció de temps variaria en cada CAP en funció de l'ordre de recollida de la furgoneta.

El segon escenari consisteix en comparar el temps mitjà dels trajectes directes d'ambdós mètodes de transport. Per això, per a la furgoneta s'han agafat temps teòrics. Agafant el temps mínim teòric en condicions òptimes (20 minuts), la reducció és del 68,9% (reducció mínima). En canvi, si es té en compte el temps habitual estimat amb furgoneta, incloent possibles congestions (25 minuts), la reducció arriba al 75,1% (reducció estimada).

Finalment, la comparació del temps mitjà per quilòmetre ha permès obtenir l'estimació més precisa de la reducció del temps de trajecte. Amb furgoneta, el temps mitjà ha estat de 3 minuts per quilòmetre (± 14 segons) en un recorregut de 36,9 km. Amb dron, ha estat de 50 segons per quilòmetre (± 1 segon) en un recorregut de 7,5 km. Això suposa una reducció del temps de transport del 72,3% per quilòmetre, un valor que se situa entre les dues estimacions anteriors. Dit d'una altra manera, el transport amb dron triga aproximadament $\frac{1}{4}$ del temps amb furgoneta.



SD: Desviació estàndard o típica

Per tal d'analitzar de forma més extensa el temps total destinat al transport, la Taula 7 mostra un resum de les mitjanes dels diferents temps que impacten en el temps total.

Taula 7 Mitjana dels temps destinats al transport amb furgoneta i dron.

	Furgoneta	Dron
1. Temps fins sortida vehicle des d'arribada al CAP	No mesurat. Aprox. 2 min	12 min $\pm$ 1 min 40 s
2. Temps de transport	2h 0 min 27 s $\pm$ 8 min 47 s	6 min 13 s $\pm$ 8 s
3. Temps d'aturada en altres CAP	No mesurat. Aprox. 15 min	0 s
4. Temps fins arribada mostres LCMN des d'arribada vehicle a l'HUGTIP	No mesurat. Aprox. 10 min	4 min 45 s $\pm$ 1 min 22 s
Temps total destinat al transport	2h 17 min 27 s $\pm$ 8 min 47 s	22 min 59 s $\pm$ 2 min 9 s

El **temps fins la sortida del vehicle des de l'arribada al CAP (1)** fa referència al temps que es tarda a portar les mostres del CAP fins al punt de sortida del vehicle, col·locar-les al vehicle amb la nevera i preparar el vehicle per al trajecte. Per a aquests temps cal tenir en compte que, per al transport amb furgoneta, les mostres ja s'entregaven col·locades dins la nevera, mentre que per al transport amb dron calia esperar que el dron arribés de l'HUGTIP amb la nevera per poder col·locar-les dins. Això suma un temps addicional a la sortida del dron, però és un temps que podria reduir-se amb facilitat. Per calcular la mitjana temps fins a la sortida del dron no s'han tingut en compte els dies 28 i 29 de novembre, dies en què aquest temps es va veure influenciat per la pèrdua de senyal GNSS i per tant no són representatius del temps de preparació.

El **temps de transport (2)** és correspon a les mitjanes calculades a partir de la taula anterior (Taula 6), i els 15 min aproximats d'aturada als altres CAP en el cas de la furgoneta es contemplen al **temps d'aturada en altres CAP (3)**. El dron no contempla aquest temps, ja que realitza el trajecte directe. El **temps fins l'arribada de les mostres al LCMN des de l'arribada del vehicle a l'HUGTIP (4)** fa referència al temps que es tarda a portar les mostres al LCMN des que el vehicle arriba a l'HUGTIP. Com es pot observar, malgrat que les mostres del dron s'havien de portar a peu des del terrat, el temps destinat a transportar-les no és elevat.

Finalment, es pot observar que el **temps total destinat al transport**, és a dir, el temps que passa des que les mostres estan preparades per al transport al CAP fins que es reben al LCMN, és notablement superior amb furgoneta. Donat que la qualitat preanalítica de les mostres depèn del temps, aquest major temps pot impactar negativament en la qualitat preanalítica de les mostres.

Si es comparen aquests dos temps directament, tal com s'ha fet en el primer escenari anterior, la reducció del temps total és del 83,3% amb dron. Tot i així, tal com s'ha esmentat abans, aquesta reducció només és rellevant per a aquest CAP, i si es realitzessin operacions amb dron en forma d'estrella.

5.3 / Qualitat de les mostres

Les mostres biològiques transportades amb dron han mantingut una qualitat dins dels rangs acceptables. En general, els biomarcadors analitzats han mostrat una precisió i exactitud comparable a la del transport en furgoneta, amb una millora significativa en els resultats de glucosa sèrica en el cas del dron.

Pel que fa als paràmetres analitzats, a continuació es resumeixen els resultats de l'estudi de comparació i de l'estudi d'estabilitat més rellevants.

A l'estudi de comparació, 5 magnituds han presentat diferències estadísticament significatives (fosfat, sodi, potassi, eritròcits i ADE). No obstant, en cap d'aquest casos s'ha superat el RCV, per la qual cosa no hi hauria repercussió clínica derivada d'aquesta variació.

Pel que fa referència a l'estudi d'estabilitat, s'han observat diferències estadísticament significatives en l'LDH i la glucosa (descrites en detall als apartats 5.3.2 i 5.3.3).

5.3.1 / Hemòlisi

El grau d'hemòlisi de les mostres biològiques es classifica segons tres nivells: Hemòlisi lleu (H1), hemòlisi moderada (H2) i hemòlisi severa (H3). L'H2 i l'H3 poden interferir en els resultats de les magnituds analítiques i, per tant, impliquen la repetició de les extraccions.

En l'estudi de comparació, els resultats mostren un estat similar d'hemòlisi per a ambdós mètodes de transport: s'han hemolitzat 6 mostres tant amb furgoneta com amb dron, tal com es recull a la Taula 8. Malgrat això, l'hemòlisi ha estat lleu per a totes les mostres del dron, mentre que ha estat moderada o severa per a 2 de les mostres de furgoneta. En aquest sentit, es pot considerar que el transport en dron ha aportat resultats lleugerament més favorables en la incidència i grau d'hemòlisi, si bé l'afectació de tan sols 2 mostres per carretera no és prou significativa.

Taula 8 Número de mostres hemolitzades amb furgoneta i dron al llarg de tots els dies de l'estudi de comparació (9 trajectes).

Grau d'hemòlisi	Furgoneta	Dron
H1	4	6
H2	1	0
H3	1	0

H1: Hemòlisi lleu ; H2: Hemòlisi moderada; H3: Hemòlisi severa

En l'estudi d'estabilitat, el transport amb dron ha aportat resultats lleugerament inferiors en comparació amb la furgoneta (Taula 9) ja que s'hauria d'haver repetit 1 extracció. Considerant que l'estudi d'estabilitat s'ha realitzat només un dia puntual, l'afectació de tan sols 1 mostra no és prou significativa. Caldria ampliar el nombre de mostres analitzades amb vols suplementaris per tal de comptar amb més casuística.

Taula 9 Número de mostres hemolitzades amb furgoneta, dron i no transportades en l'estudi d'estabilitat (1 trajecte).

Grau d'hemòlisi	Furgoneta	Dron	No transportades
H1	5	7	1
H2	0	1	0
H3	0	0	0

H1: Hemòlisi lleu ; H2: Hemòlisi moderada; H3: Hemòlisi severa

En resum, pel que fa a l'hemòlisi, en ambdós mètodes de transport els resultats són molt similars. El que sí que és destacable és el fet que l'hemòlisi es redueix notablement en les mostres no transportades, tal i com s'esperaria.

5.3.2 / Lactat deshidrogenasa (LDH)

A l'estudi de comparació, en què el transport s'ha realitzat cada dia, no s'han observat diferències estadísticament significatives en l'LDH entre el transport amb furgoneta i amb dron.

A l'estudi d'estabilitat, realitzat puntualment, s'ha obtingut una diferència percentual o biaix significatiu derivat del transport amb dron. La diferència respecte les mostres no transportades ha estat del 0.44% en el cas de la furgoneta i del 5.47% en el cas del dron. Aquesta última supera el valor de referència establert (RCV), que és del 5.13%. Aquest augment pot ser degut als graus d'hemòlisi lleugerament superiors amb dron en l'estudi d'estabilitat. Com que aquesta prova s'ha realitzat un sol dia, caldria ampliar el nombre de mostres analitzades amb vols suplementaris per tal d'analitzar-ne millor l'afectació.

5.3.3 / Glucosa

A l'estudi de comparació no s'han observat diferències significatives en els valors de glucosa sèrica. A l'estudi d'estabilitat, en canvi, sí que s'han trobat diferències estadísticament significatives, on el biaix de les mostres transportades en furgoneta ha estat del -6,01%, mentre que amb el dron ha estat del -4,76%. Només el valor de les mostres transportades per furgoneta ha estat estadísticament significatiu.

S'assumeix que aquestes alteracions en les concentracions de glucosa estan justificades pels temps de transport elevats en furgoneta, que s'han evitat amb dron i han permès obtenir millors resultats.

5.4 / Impacte ambiental

Per a comparar l'impacte ambiental del transport amb dron i furgoneta, s'han tingut en compte els quilòmetres recorreguts amb furgoneta en un trajecte directe (CAP Sant Fost - Martorelles i l'HUGTIP). Així s'ha obtingut una reducció del 99,2% d'emissions de CO₂ amb el transport amb dron.

99,2%
Reducció de CO₂
durant el transport

Durant el trajecte directe amb una **furgoneta estàndard** (36,9 km) s'emeten **3225,6 g de CO₂ equivalent**. En canvi, en el trajecte amb el **dron elèctric** (7,5 km), s'emeten tan sols **26,31 g de CO₂ equivalent**. Aquest valor es justifica donat que el dron disposa de dues bateries de 22,2 V amb un consum de 22 Ah, per tant, el dron consumeix només 0,10121 kWh, i el trajecte dura de mitjana 6 min 13 s.

5.5 / Usabilitat

Els resultats de la usabilitat del transport amb dron es mostren mitjançant el test SUS, els comentaris realitzats pels professionals i l'anàlisi estructurada DAFO (Debilitats, Amenaces, Fortaleses i Oportunitats), elaborada a partir de les sessions de valoració amb professionals sanitaris, tècnics i operadors.

5.5.1. /Test SUS

El qüestionari SUS ha estat respost per 12 professionals implicats en el projecte, fet que ha permès obtenir resultats representatius. Del total de participants, 10 pertanyen al LCMN, 1 a la Gerència Territorial de Metropolitana Nord, i 1 al SEM. La Figura 11 presenta la puntuació mitjana ($\pm$ desviació estàndard) obtinguda en el test SUS, així com la mitjana per cada grup professional.

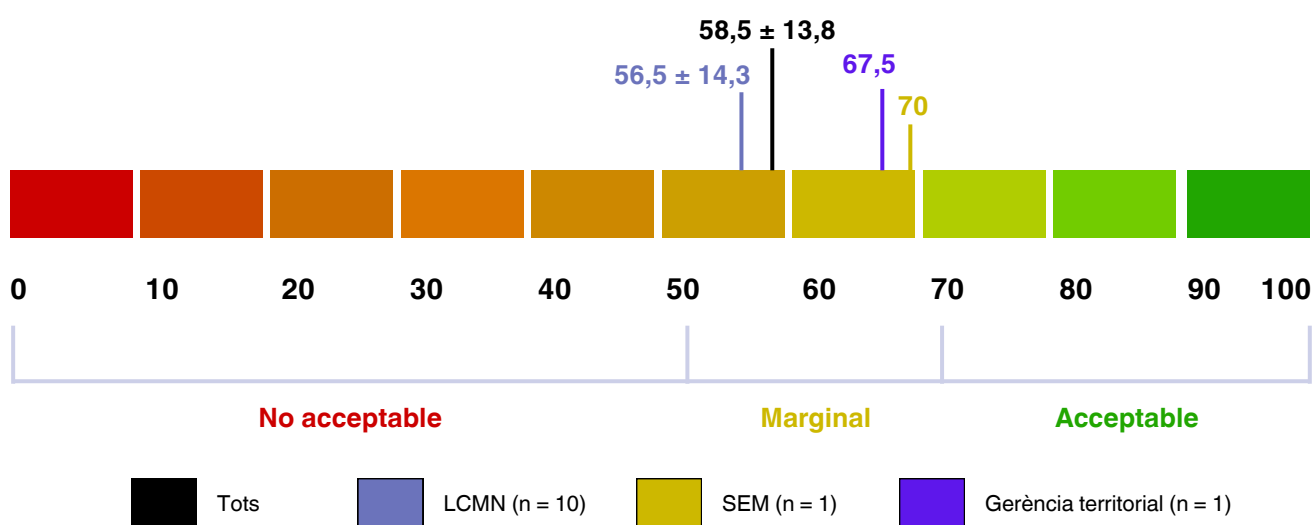


Figura 11 Resultats del test SUS.

Com es pot observar, la mitjana general és de 58,5 $\pm$ 13,8, al centre del rang marginal. La puntuació mitjana dels professionals del LCMN (que uneix professionals de planificació i preparació, de recollida de mostres al dron i de l'anàlisi de resultats) és lleugerament inferior a la mitjana general, mentre que les puntuacions de la Gerència Territorial i el SEM són superiors. La puntuació del SEM ja entra dins del rang acceptable, que comença a 68-70. Aquestes puntuacions reflecteixen tant les fortaleses i oportunitats del projecte, com les debilitats i amenaces -totes elles llistades al subapartat 5.5.3. Anàlisi DAFO-.

Les Figures 12 i 13 presenten, mitjançant gràfics de barres apilades, les respostes en cada ítem de l'escala SUS. La Figura 12 mostra els ítems senars, en els quals una resposta positiva indica la màxima puntuació. Per contra, la Figura 13 mostra els ítems parells, en què una resposta negativa correspon a la màxima puntuació. Per facilitar la comprensió dels gràfics, les respostes "Totalment d'acord" i "D'acord" s'han agrupat en un sol bloc, així com les respostes "Totalment en desacord" i "En desacord". En ambdós Figures, les opcions que assignen la puntuació màxima estan destacades en verd.

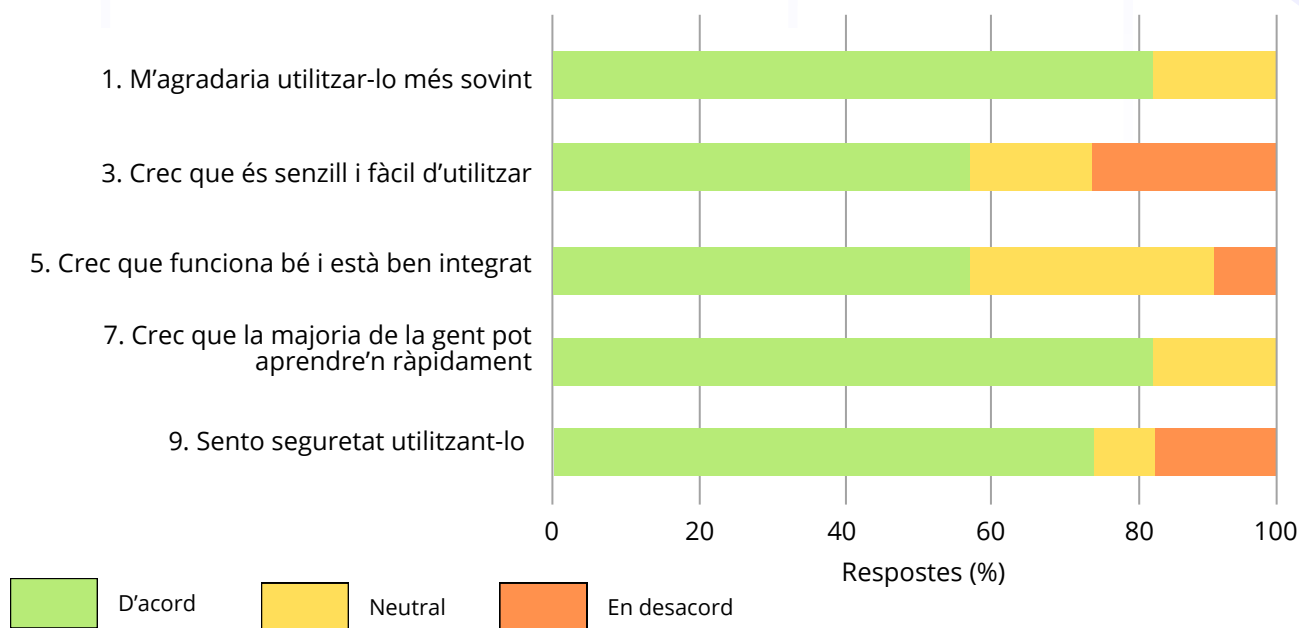


Figura 12 Percentatge de respostes en els ítems senars de l'escala SUS, on es pregunta sobre la usabilitat del sistema de transport amb dron.

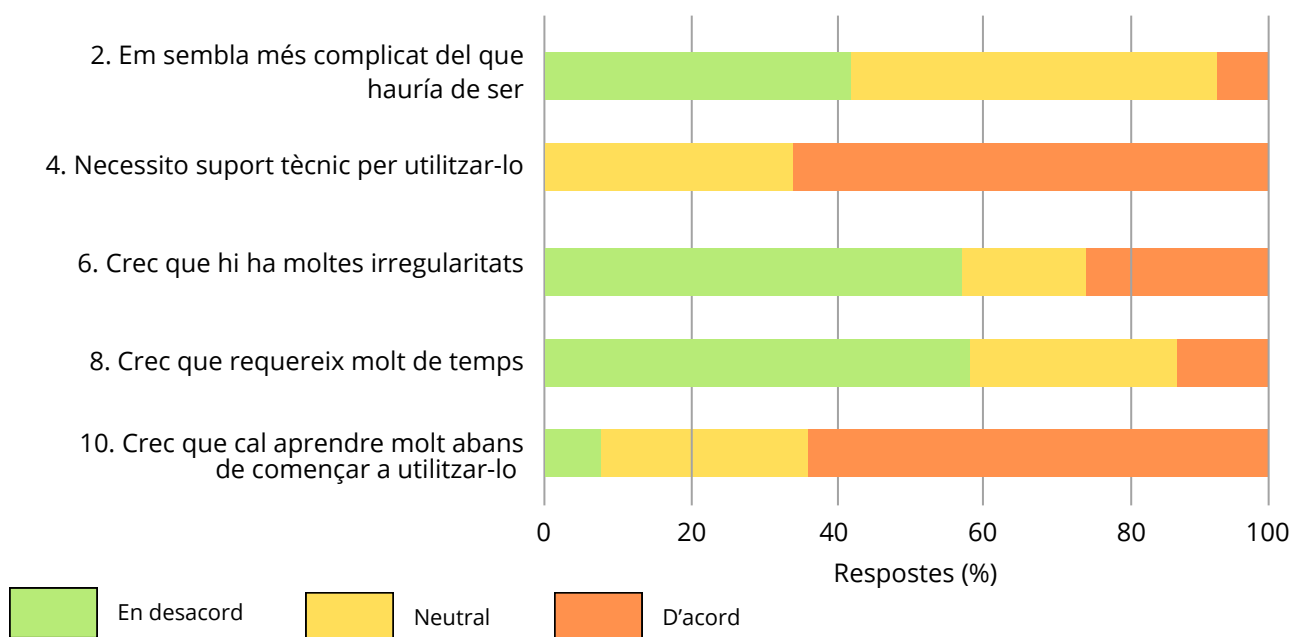


Figura 13 Percentatge de respostes en els ítems parells de l'escala SUS, on es pregunta sobre la usabilitat del sistema de transport amb dron.

La Figura 12 mostra un acord majoritari en les afirmacions positives, que fa evident les avantatges del sistema de transport amb dron. Cal destacar, tot i així, l'acord menys majoritari a les preguntes 3 i 5. La Figura 13 (afirmacions negatives) mostra respostes més disperses. Totes elles evidencien la necessitat de seguir avançant en la implementació d'infraestructura per al transport i en la seva integració en el circuit assistencial; per exemple, pel que fa al procés de càrrega i descàrrega del dron, per tal que el transport sigui més senzill.

5.5.2. / Comentaris generals

A continuació es mostren alguns dels comentaris realitzats pels professionals del LCMN i del SEM. A mode de resum, es volen destacar algunes debilitats i amenaces mencionades pels professionals com són les condicions meteorològiques adverses, les limitacions del marc regulador, la dependència d'espais específics als CAP per poder operar i la manca d'integració completa dels drons en el circuit assistencial de les mostres (p. ex., la necessitat que un professional de laboratori hagi d'anar al terrat a buscar les mostres). Aquest últim punt es considera especialment rellevant donat que les mitjanes de puntuacions del LCMN al test SUS són lleugerament inferiors. L'operativa del dron en sí, en canvi, s'ha valorat més positivament al test SUS.

"Amb les meves respostes vull reflectir que el transport de mostres amb dron seria una revolució per als laboratoris d'anàlisis clíniques, però encara queda molt per a explorar fins a poder garantir que es tracta d'un sistema robust, sostenible en el temps i aplicable als diferents contextos possibles." (LCMN)

"Crec que encara hi ha coses per avaluar i aprendre, però (...) el transport de mostres amb drons pot accelerar l'arribada de les mostres al laboratori i permetre donar accessibilitat i tractament equitatiu als centres més aïllats. Escurçar temps de resposta i avisar de valors crítics molt abans." (LCMN)

"Considero que la implementació dels drons en el transport de mostres comportaria una millora assistencial important, tant pel que fa la gestió de les incidències preanalítiques com en l'obtenció de resultats de les proves analítiques." (LCMN)

5.5.3. / Anàlisi DAFO

La sessió de treball de valoració de la prova amb els professionals sanitaris, els operadors i el SEM ha permès identificar els factors clau que poden condicionar la implementació del transport de mostres biològiques amb dron i plasmar aquesta informació en una anàlisi DAFO (Taula 10). Aquesta anàlisi es discuteix de forma més extensiva al següent apartat (6. Discussió).

Taula 10 Anàlisi DAFO (Debilitats, Amenaces, Fortaleses i Oportunitats).

	POSITIU	NEGATIU
INTERN	Fortaleses Equip multidisciplinari. Participació d'àrees assistencials diverses. Territori amb potencial per a proves de concepte.	Debilitats Integració parcial al circuit assistencial. Disponibilitat d'una única caixa de transport de mostres sense nanses. Manca de previsió de les adversitats meteorològiques. Limitacions en la recepció de senyal GNSS i de xarxa. Dependència d'espais específics al CAP.
EXTERN	Oportunitats Diagnòstic més àgil gràcies a un transport més ràpid. Optimització del flux organitzatiu al LCMN. Possibilitat d'ampliar els horaris d'extraccions al CAP. Millora de la qualitat preanalítica de les mostres. Reducció substancial de les emissions de CO₂. Evolució del marc regulador.	Amenaces Condicions meteorològiques adverses. Coordinació de l'espai aeri. Limitacions del marc regulador. Cost del servei.

Discussió



Aquest apartat recull l'anàlisi crítica de l'execució i els resultats de la prova de concepte de transport de mostres biològiques amb dron. Es valoren els aspectes operatius, tècnics, logístics i assistencials observats, així com el seu impacte potencial en la pràctica clínica i el sistema sanitari, i es discuteix l'anàlisi DAFO plasmada a l'apartat anterior. També s'avaluen les propostes de futur per avançar en la integració de l'ús de drons a salut.

6.1. / Valoració general

L'execució del pilotatge ha estat majoritàriament satisfactòria, amb 20 vols executats i transports realitzats en 9 dels 10 dies previstos. Els resultats mostren una reducció del temps de transport del 72,3% per quilòmetre i una reducció de les emissions de CO₂ durant el trajecte del 99,2%. Aquests resultats, sumats a l'agilitat logística del dron, permeten un transport esglaonat, en forma d'estrella, i més flexible. Això permetria evitar colls d'ampolla al laboratori, provocats per l'arribada simultània de mostres de diversos CAP, i millorar la capacitat de resposta en casos d'analítiques urgents o amb valors crítics. Aquesta eficiència pot contribuir a afavorir una major equitat territorial en l'accés a les analítiques i a millorar la qualitat assistencial en zones més aïllades o de difícil accés.

Pel que fa a la qualitat analítica, no s'han detectat diferències rellevants entre les mostres transportades amb furgoneta i amb dron. S'ha observat una estabilitat superior de la glucosa sèrica en les mostres transportades per aire, probablement degut a la reducció en el temps del trajecte. Tanmateix, cal tenir en compte que l'estudi d'estabilitat només es va dur a terme en una única jornada i amb una mostra reduïda de participants, per la qual cosa seria recomanable repetir-lo amb una durada més extensa i una mostra més àmplia per tal de validar-ne la robustesa.

Altres limitacions operatives detectades en aquest estudi inclouen la pèrdua de senyal GNSS, la climatologia adversa –que va obligar a cancel·lar un vol– i les dificultats logístiques derivades de l'ús d'una única nevera per al transport amb dron. En qualsevol cas, és evident que caldrà seguir validant el model en entorns diversos i amb trajectes més llargs i complexos.

Pel que fa a l'anàlisi DAFO presentat a l'apartat 5.5.3, el projecte compta amb múltiples fortaleeses. Una d'elles és la implicació d'un equip multidisciplinari, format per professionals sanitaris, operadors i experts en la tecnologia dron, enginyers, tècnics i gestors. Aquesta combinació ha permès aplicar de manera efectiva la tecnologia dron en l'àmbit assistencial. A més, la participació de diverses àrees assistencials ha aportat una visió global de les implicacions organitzatives i clíniques del projecte. D'altra banda, el territori que abasteix l'àrea d'influència del LCMN es caracteritza per una gran diversitat d'entorns (urbans, sub-urbans i rurals), fet que li atorga un alt potencial per a la realització de proves de concepte.

Malgrat els bons resultats, s'han identificat un seguit de debilitats del projecte. En primer lloc, és evident que cal seguir treballant per integrar plenament els drons en el circuit assistencial, aconseguint reduir temps i desplaçaments de personal innecessaris. Seguidament, cal destacar la limitació de la nevera de transport: s'ha disposat d'una única nevera per al dron, el que ha implicat una manipulació addicional innecessària de les mostres i ha limitat la fluïdesa del circuit. A més, el fet que la nevera fos sense nanses ha dificultat la seva manipulació. En aquest sentit, la disponibilitat de dues unitats de neveres que permetessin posar-hi les mostres directament un cop acabades les extraccions permetria una operativa més eficient i integrada amb el flux assistencial habitual. A la pràctica, es reduiria el temps total destinat al transport. A més, la nevera es va haver de substituir a última hora per un càlcul incorrecte de la seva mida màxima, el que va implicar una fabricació més simple que podria ser que no hagi garantit del tot la hermeticitat o la conservació òptima de la temperatura.

Pel que fa a les incidències en l'execució dels trajectes, les pèrdues de senyal GNSS han provocat retards puntuals, i han posat de manifest la importància d'ubicar els punts d'enlairament en terrats elevats i amb bona recepció. Les incidències meteorològiques han fet evident la manca de protocols específics per a aquestes situacions. En aquest sentit, cal tenir en compte que el pilotatge ha coincidit amb dies de climatologia adversa, no massa freqüents a Catalunya, sobretot pel que fa a vents tan intensos. Tot i així, s'ha fet evident la necessitat de disposar sempre d'un transport alternatiu per carretera i d'activar protocols anticipats per garantir el flux assistencial. Finalment, s'ha observat que per a l'execució d'aquests projectes és necessari que els CAP tinguin espais practicables per a l'enlairament i aterratge.

Considerant les oportunitats, el transport amb dron ofereix una reducció notable del temps de transport, fet que pot permetre avançar el moment d'inici de l'anàlisi i proporcionar un diagnòstic més àgil, millorant la resposta davant valors crítics. El transport esglaonat (en forma d'estrella) amb dron podria permetre la optimització del flux organitzatiu al LCMN, que també agilitzaria l'obtenció de resultats. Gràcies a la rapidesa del transport amb dron, es podrien ampliar els horaris d'extracció als CAP (matí i tarda, per exemple), millorant l'equitat territorial. Els drons també podrien permetre una millora de la qualitat preanalítica de les mostres, especialment en magnituds sensibles al temps com la glucosa sèrica. La integració dels drons permetria reduir de manera significativa l'emissió de contaminants i, finalment, els canvis que es vagin realitzant en la regulació en els propers anys podrien facilitar la implementació dels drons en entorns més diversos.

Finalment, cal destacar algunes amenaces, com són les condicions meteorològiques adverses (ventades o pluja intensa), que poden provocar l'anul·lació del transport. Altres factors limitants són la coordinació de l'espai aeri en entorns sub-urbans o urbans i el marc regulador. El cost real del servei de transport en dron en entorn productiu s'haurà d'avaluar amb més detall un cop s'avanci amb la seva implementació.

6.2. / Propostes de futur

A partir de l'experiència i de les reunions de valoració amb professionals sanitaris i tècnics, s'han proposat diverses línies d'evolució del projecte:

- **Repetir la prova de concepte amb un CAP més allunyat o amb dos CAP simultanis per avaluar l'escalabilitat del model, integrant entorns rurals amb entorns sub-urbans.**
- **Ampliar la tipologia de mostres transportades (incloent mostres d'anatomia patològica, entre d'altres).**
- **Explorar nous casos d'ús, com el transport de farmàcia, material de laboratori urgent o material d'odontologia.**

Finalment, per tal d'avançar en la integració de la tecnologia dron, s'ha fet evident la necessitat d'implementar infraestructures als centres sanitaris. Això permetria millorar la operativització de l'enlairament i aterratge i la gestió de la logística. També es planteja l'ús de plataformes digitals per a la gestió i la coordinació dels serveis logístics.

Conclusions



Els resultats obtinguts en aquesta prova de concepte reafirmen la utilitat dels drons per al transport de mostres biològiques, i evidencien la seva viabilitat e entorns sub-urbans.

Això els posiciona com una alternativa eficient, segura i sostenible en comparació amb el transport per carretera. Més en detall, s'ha obtingut una reducció significativa del temps de transport (un 72,3% per km) i una disminució dràstica de les emissions de CO₂ durant el trajecte (99,2%). Tot plegat, mantenint la qualitat preanalítica de les mostres dins dels paràmetres clínicament acceptables, i mostrant resultats més robustos pel que fa a la glucosa sèrica.

L'operativa amb dron ha estat satisfactòria. Malgrat la presència d'algunes incidències puntuals com la pèrdua de senyal GNSS o les condicions meteorològiques adverses-, aquestes es consideren assumibles mitjançant millores en la infraestructura i en els protocols operatius. Així mateix, la percepció dels professionals ha estat positiva, tot i que es destaca la necessitat d'automatitzar el circuit assistencial per equiparar-lo amb el nivell d'integració actual del transport terrestre.

En aquest sentit, la implementació d'infraestructures específiques als centres sanitaris, així com l'ús de plataformes digitals per a la gestió i coordinació logística, podrien contribuir de manera significativa a augmentar l'eficiència global del sistema.

Ara bé, aquest projecte també ha posat de manifest les barreres normatives i logístiques que encara dificulten el desplegament a gran escala del transport amb drons. Tot i així, el model pot continuar explorant-se en altres àmbits com el transport de medicaments o de material de laboratori.

En resum, el transport amb dron té un gran potencial per millorar l'accessibilitat, l'eficiència i la qualitat de l'atenció sanitària, especialment en territoris amb reptes logístics. Per tal de continuar avançant cap a una integració real en el Sistema de Salut, caldrà seguir testejant, optimitzant i validant aquest model en nous escenaris i contextos reals.

Referències



1. Fundació TIC Salut Social, «Informe: Integració de drons a l'entorn de salut» 2023. [En línia]. Disponible a: <https://ticsalutsocial.cat/wp-content/uploads/2024/05/Informe-Integracio-de-Drons-a-Entorn-Salut.pdf>.
2. Fundació TIC Salut Social, «Nou grup de treball per a la incorporació de drons a l'àmbit de la salut.» 2023. [En línia]. Disponible a: <https://ticsalutsocial.cat/noticia/nou-grup-de-treball-per-a-la-incorporacio-de-drons-a-lambit-de-la-salut/>.
3. Fundació TIC Salut Social, «Infografia. Aplicació de drons en l'àmbit de la salut» 2023. [En línia]. Disponible a: https://ticsalutsocial.cat/wp-content/uploads/2023/10/Cartell_Drons_TICSalut_Bo.pdf.
4. Fundació Hospital d'Olot i Comarcal de la Garrotxa, «Primer cas d'èxit de transport de mostres biològiques amb dron en la prova pilot d'Olot» 2023. [En línia]. Disponible a: <https://hospiolot.com/primer-cas-dexit-de-transport-de-mostres-biologiques-a->
5. Fundació TIC Salut Social, «Prova de concepte de transport de mostres biològiques amb dron a la Garrotxa. Informe de resultats» 2024. [En línia]. Disponible a: <https://ticsalutsocial.cat/wp-content/uploads/2025/01/Informe-Olot.pdf>.
6. Google Maps, «Trajecte per carretera del CAP Sant Fost - Martorelles a l'Hospital Universitari Germans Trias i Pujol» [En línia]. Disponible a: <https://www.google.es/maps/dir/CAP+Sant+Fost+-+Martorelles,+Carretera+de+Badalona,+Sant+Fost+de+Campsentelles/Hospital+Universitari+Germans+Trias+i+Pujol,+Carretera+de+Canyet,+s%2Fn,+08916+Badalona,+Barcelona/@41.4809053,2.1813668,12z/data=!3m1!5s0x12a4bb>.
7. Google Maps, «Trajecte per carretera del CAP Sant Fost - Martorelles a l'Hospital Universitari Germans Trias i Pujol passant per altres CAP» [En línia]. Disponible a: <https://www.google.es/maps/dir/CAP+Sant+Fost+-+Martorelles,+Carretera+de+Badalona,+Sant+Fost+de+Campsentelles/CAP+La+Llagosta,+Carrer+de+Vic,+La+Llagosta/CAP+Montornès+del+Vallès,+Carrer+de+Can+Parera,+Montornès+del+Vallès/CAP+Montmeló,+Plaza+Ernest+Lluch>.
8. El Nacional, «Imatge dron a salut» [En línia]. Disponible a: <https://www.elnacional.cat/uploads/s1/47/56/47/66/dron-salut.jpeg>.
9. Carla Fernández-Prendes, Maria-José Castro-Castro, Laura Jiménez-Añón, Cristian Morales-Indiano, María Martínez-Bujidos, «Discrepancies in lipemia interference between endogenous lipemic samples and Smoflipid®-supplemented samples» EJIFCC, vol. 34, núm. 1, pp. 27-41, 2023.
10. Cero CO2, «Calculadora» [En línia]. Disponible a: <https://www.ceroco2.org/calculadoras/>.
11. Generalitat de Catalunya, «Factor d'emissió de l'energia elèctrica: el mix elèctric,» 2023. [En línia]. Disponible a: https://canviclimatic.gencat.cat/ca/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/index.html.

