



TREBALL FINAL DE GRAU

GENERACIÓ D'ORTOFOTOS D'ALTA RESOLUCIÓ MITJANÇANT VEHICLES AERIS NO TRIPULATS

ESTUDI METODOLÒGIC

JORDI SEGÚ TELL

Maig de 2017

**GRAU EN GEOGRAFIA, ORDENACIÓ DEL TERRITORI I GESTIÓ DEL MEDI
AMBIENT**

TUTOR: DOCTOR DIEGO VARGA LINDE

It is possible to fly without motors, but not without knowledge and skill. This I conceive to be fortunate, for man, by reason of his greater intellect, can more reasonably hope to equal birds in knowledge than to equal nature in the perfection of her machinery.

Wilbur Wright

Agraïments

Voldria transmetre els meus agraïments a totes aquelles persones, que sense elles no hagués estat possible aquest treball de final de grau.

En primer lloc al conjunt de persones que formen el departament de Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient. Per apostar per la innovació, amb la compra del dron d'ala fixa "Mineos". Molt especialment als professors implicats en el projecte: Al Jaume Feliu, a la Carolina Martí, a en David Pavón i a en Diego Varga, que és també el meu tutor del treball.

A en Nil Sicart per les seves incansables ganes d'aprendre i voler transmetre sempre els seus coneixements als altres. Però sobretot per deixar-me el seu Phantom 3 i poder fer la part pràctica del treball, tot i els entrebancs que han anat sorgint.

A la Carla Garcia pels seus ànims i la seva actitud sempre positiva. Així com pels consells i les correccions que m'ha fet.

A la meva família que des de Riudoms m'ha recolzat en tot moment durant aquesta etapa acadèmica a Girona.

I als amics de la universitat per fer d'aquests quatre anys els millors de la meva vida.

Gràcies a tots.

Resum

Ja fa anys que els drons han entrat dins la nostre societat, poder fer fotografies i vídeos aeris de gran qualitat mai havia estat tant a l'abast de la ciutadania. La Geografia ha d'estar al dia de les noves tecnologies, de manera acadèmica i rigorosa. En aquest treball es pretén fer això, un estudi metodològic sobre la generació d'ortofotos mitjançant la tecnologia dron. Analitzant els diversos drons, sensors, paràmetres de vol i programes informàtics que existeixen. Per establir una metodologia clara que serveixi per passar d'un conjunt de fotografies aèries a una ortofoto d'alta resolució.

Índex

1.	Introducció.....	5
1.1.	Justificació.....	5
1.2.	Estructura i resum del treball.....	6
1.3.	Objectius	7
1.4.	Àrea d'estudi	7
2.	Marc teòric	9
2.1.	UAV.....	9
2.1.1.	Definició de UAV	9
2.1.2.	Classificació dels UAV.....	9
2.1.3.	Legislació	14
2.1.4.	Sensors	16
2.2.	Fotografia aèria i teledetecció.....	18
2.2.1.	Aproximació història a la fotografia aèria	18
2.2.2.	Teoria de la teledetecció.....	19
2.2.3.	Planificació del vol i solapament d'imatges.....	20
2.2.4.	Procés d'obtenció d'una ortofoto.....	22
3.	Metodologia.....	23
3.1.	Característiques tècniques del UAV utilitzat.....	23
3.2.	Software.....	24
3.2.1.	Pre-vol	25
3.2.2.	Post-vol	27
4.	Resultats i discussió.....	32
4.1.	Pre-vol.....	33
4.2.	Post-vol	34
5.	Conclusions.....	47
6.	Bibliografia.....	48

1. Introducció

1.1. Justificació

El tema del treball final de grau (TFG) esdevé d'un conjunt d'aspectes que han anat passant al llarg del temps, que ha durat la carrera universitària. Des dels inicis del grau els meus interessos acadèmics van estar centrats amb la temàtica dels sistemes d'informació geogràfica. Paral·lelament el Departament de Geografia de la Universitat de Girona va fer la inversió de comprar un vehicle aeri no tripulat (UAV) d'ala fixa. A més un conjunt de professors es van treure la llicència de pilot de drons. Amb tot això les meves inquietuds per aquest món van anar augmentant.

El desembre del 2016 el ministeri d'educació em va concedir una beca de col·laboració per realitzar tasques d'investigació relacionades amb la temàtica dels UAV al Departament de Geografia. Des d'aquell moment ja vaig tenir clar que el meu TFG aniria relacionat amb aquest tema. S'havien de començar a obrir els coneixements d'una disciplina molt nova i desconeguda per mi, i amb l'ajuda dels professors implicats amb el projecte vam començar a recórrer aquest camí, esquivant moltes traves que ens anaven caient. Finalment es va optar per a fer un TFG que tractés la temàtica dels drons des de baix de tot, començant pel principi. Una anàlisi metodològica de com extreure un element bàsic per analitzar el territori, una ortofoto, utilitzant la tecnologia dels drons.

1.2. Estructura i resum del treball

El treball tracte sobre noves tecnologies aplicades a la geografia, en ser un treball amb unes especificacions tècniques complexes s'ha cregut necessari incloure un apartat d'estructura i resum, per posar el lector en context des del principi i així fer-li més amena la lectura posterior. El resum està estructurat amb els diversos apartats que té el treball.

Marc teòric:

En primer lloc es farà una aproximació teòrica als drons. Definint que entenem per dron, els tipus de drons que existeixen i la seva classificació. Així com la legislació espanyola vigent pel que fa a l'espai aeri disponible i les restriccions que existeixen per volar amb drons. A continuació s'estudiaran els diversos sensors d'obtenció d'imatges que s'hi poden incorporar, aquests són una part fonamental de la metodologia, ja que depenent de quin sensor s'utilitzi es poden obtenir diferents informacions territorials.

Després s'entrarà en el camp de la fotografia aèria i la teledetecció, on primerament es farà una aproximació històrica. La segona part d'aquest bloc està centrada amb la teoria de la teledetecció, com i perquè un sensor pot captar el reflex de la llum solar en la terra i emmagatzemar de manera analògica o digital aquesta informació per a posteriorment ser tractada i analitzada. Finalment es tracten altres aspectes teòrics que són essencials per treballar en el camp de la telemetria, com l'explicació dels processos de rectificació d'imatges i la superposició d'imatges.

Metodologia:

En aquest bloc s'expliquen els diferents tipus de programaris informàtics (*software*) necessaris per treballar amb imatges dron. Primer de tot es necessita un *software* per a definir el pla de vol, que serà la ruta que el dron seguirà mentre vola, també es defineix en quin punt i amb quina altura el sensor es dispararà per obtenir les imatges. D'aquests primers *softwares* en direm de pre-vol. En acabat s'explicarà els *softwares* que n'anomenarem de post-vol, que la seva funció principal és la de tractar les imatges una vegada ja han sigut obtingudes.

Resultats i discussió:

En aquest punt es presenten els resultats del procés de pre i post vol, amb el conjunt de mapes i informes de qualitat d'imatge que s'han generat amb la metodologia explicada anteriorment. S'han obtingut tres plans de vol, sis ortofotomapes i sis informes de qualitat finals.

Conclusions:

Finalment s'extreuen unes conclusions de tot el conjunt del treball. Amb la voluntat de posar en context el món dels drons en el camp acadèmic de la geografia i la cartografia.

1.3. Objectius

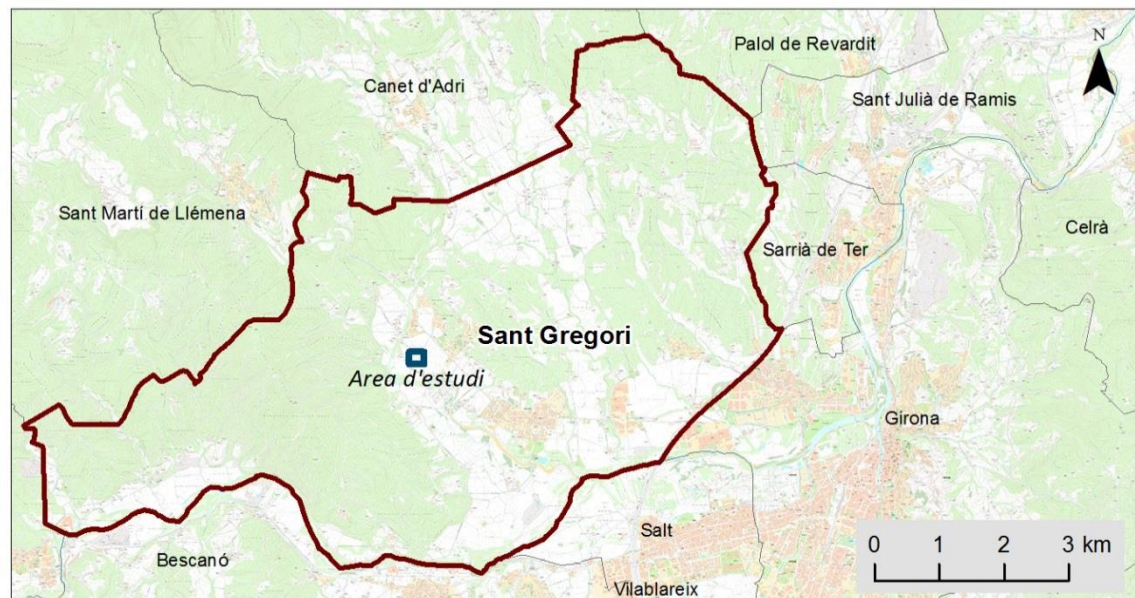
L'objectiu principal d'aquest treball final del Grau de Geografia, Ordenació del Territori i Gestió del Medi Ambient és fer un estudi metodològic sobre el programari de pre i post vol, en l'ús de vehicles aeris no tripulats (Unmanned Aerial Vehicle - UAV) o dron, enfocat en el camp acadèmic de la geografia i la cartografia.

Els objectius específics són, saber controlar els paràmetres de vol que són essencials per poder extreure una ortofoto. Entre aquests paràmetres hi podem trobar l'alçada adequada per la realització del vol i la superposició que han de tenir les imatges, tot en funció de quina qualitat d'imatge es vol obtenir del producte final.

1.4. Àrea d'estudi

La zona escollida per fer els vols amb el dron està situada al Pla del Corder, al municipi de Sant Gregori, província de Girona (Mapa 1). S'ha buscat una superfície on hi hagi diverses cobertes del sòl per poder veure com el sensor captura diferents tipus de mosaics. La zona en concret té una superfície d'una hectàrea. És una arbreda de pi pinyoner envoltada per camps de conreu on si cultiva blat, també hi ha una masia i una piscina.

Mapa 1: Delimitació de l'area d'estudi



Font: Elaboració propia a partir de les dades del ICGC

2. Marc teòric

2.1. UAV

2.1.1. Definició de UAV

Un UAV o dron és un vehicle aeri no tripulat. En anglès les sigles UAV signifiquen Unmanned Aerial Vehicle i en llengua catalana estan acceptades tant aquestes sigles com la paraula dron. Aquesta paraula va ser la guanyadora del neologisme de l'any 2015 organitzat pel TERMCAT (centre de terminologia de Catalunya). La definició que en fa el TERMCAT (2015) és la següent:

Un dron, un vehicle aeri no tripulat o un UAV és una aeronau no tripulada i reutilitzable, de qualsevol mida i qualsevol forma, que és dirigida remotament des de terra o que funciona amb un cert grau d'autonomia.

Durant aquest TFG s'utilitzaran les sigles UAV perquè són les més freqüents en el camp professional i acadèmic, i a més són les més utilitzades arreu del món per a determinar aquest tipus d'aeronaus.

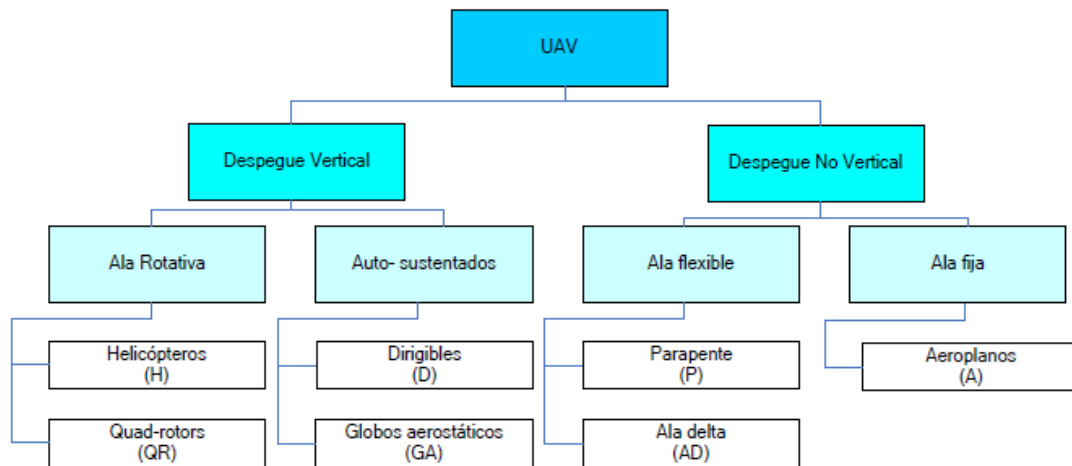
2.1.2. Classificació dels UAV

Els UAV es poden classificar amb diversos criteris depenent de quin aspecte s'agafi com a més important. En primer lloc es farà una classificació segons la forma i la manera de volar, i en segon lloc es farà una classificació pel tipus de font energètica que utilitzen pel seu funcionament.

Classificació segons la forma

Com es pot veure a *l'esquema 1* hi ha dos grans grups diferenciats, els UAV que s'enlairen de manera vertical i els que no ho fan. Per la realització d'una determinada missió és molt important saber quin equip UAV anirà millor segons la tasca que ens interressi realitzar.

Esquema 1: Classificació UAV segons la seva forma.



Font: Barrientos et al., 2009

Enlairament vertical:

- **Ala rotativa:** L'ala de sustentació de l'aparell és la mateixa peça que dóna energia mecànica per a volar. Trobem dos tipus de UAV molt comuns dins d'aquesta classificació.

- o **Multirotors:** Són els UAV que estan a la ment de la població quan algú parla de drons, els més populars de tots i els que econòmicament estan a l'abast de més gent. El seu disseny consta d'una plataforma pensada per a ser molt estable, ja que els motors estan situats a la mateixa distància del centre de gravetat. Es pot fer una classificació dins d'aquest gran grup de UAV segons el nombre de motors que tenen: tricòpters (tres motors), quadricòpters (quatre motors), hexacòpters (sis motors) i octocòpters (vuit motors). Cal tenir en compte a l'hora de triar un multirotor que com més motors té, més consum energètic i per tant menys temps d'autonomia tindrà. Els multirotors són ideals per a fer treballs audiovisuals gràcies a la seva gran estabilitat, el desavantatge més gros que tenen són la seva poca autonomia, lligada sobretot a ser molt poc aerodinàmics.



Imatge 2.1: UAV multirotor quadricòpter. Imatge extreta de: <http://mindsieducation.com>

- **Helicòpters:** Són uns dels UAV més polivalents, serveixen per a fer molts tipus de missions. Tenen una gran capacitat de càrrega i d'autonomia perquè només consten d'un motor i una hèlice de gran dimensió. Això fa que siguin energèticament més eficients que per exemple un quadricòpter perquè tenen tres hèlices menys. La seva forma també és més aerodinàmica que la dels multirotors. Però en canvi són dels UAV's més complexos mecànicament, s'ha d'ajustar constantment per a poder fer un vol òptim.



Imatge 2.2: UAV helicòpter. Imatge extreta de: <https://es.aliexpress.com>

- **Auto-sustentats:** L'aparell està dissenyat per a tenir la seva pròpia sustentació en l'aire. Després pot tenir un motor de propulsió per a realitzar els seus desplaçaments o no. Aquests tipus de UAV no són gaire freqüents, inclús hi ha qui no els considera UAV's. Podem trobar-ne dos tipus:

- **Dirigibles:** Són aeronaus propulsades amb capacitat de maniobra. Aconsegueixen la sustentació mitjançant dipòsits de gas amb menys densitat que la de l'aire de l'atmosfera, com l'hidrogen o l'heli. El desplaçament el fan gràcies a hèlices que incorporen.



Imatge 2.3: UAV dirigible. Imatge extreta de: <https://www.pinterest.com>

- **Globus aerostàtics:** Són aeronaus no propulsades que segueixen el principi dels fluids d'Arquímedes per a volar. Estan compostos per una bossa de gas menys dens que l'aire de l'atmosfera. Com que no tenen cap tipus de propulsió es deixen portar pels corrents tèrmics de l'aire. Per aquest fet moltes vegades no són considerats UAV's. Són els que s'utilitzen com a globus sonda en missions que tenen com a objectiu estudis de l'atmosfera o meteorològics.



Imatge 2.4: UAV globus aerostàtic. Imatge extreta de: <http://cl.pe/globo-videovigilancia->

Enlairament no vertical:

- **Ala flexible:** Són UAV amb ales no rígides. La seva gran avantatge és que són molts més resistents als impactes que els altres UAV.

- **Parapent:** Aquests UAV's estan fets únicament de corda i tela que com a molt porten una petita estructura de plàstic per al suport del sensor òptic que s'hi vulgui incorporar. Són bastant rars en el camp professional, ja que la seva maniobrabilitat és molt complicada i són molts susceptibles a les inclemències meteorològiques.



Imatge 2.5: UAV parapent. Imatge extreta de: <http://www.suds-en-ligne.ird.fr>

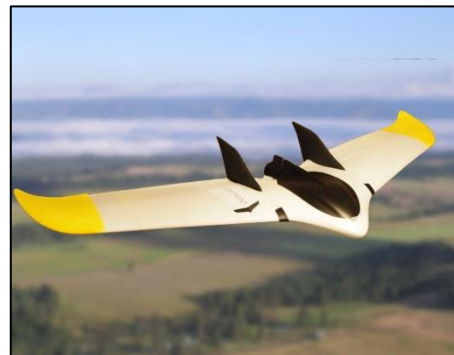
- **Ala delta:** Són aeronaus dissenyades per a planejar. La seva estructura consta bàsicament de dos components. Un esquelet de material rígid que dona forma a les ales de l'aeronau i una tela que la cobreix. De vegades també poden portar un motor de propulsió. Com en el cas anterior també són UAV molt rars en el camp professional.



Imatge 2.6: UAV ala delta. Imatge extreta de: <http://www.aeromodelismovirtual.com>

- **Ala fixa:** Són UAV que les seves ales estan compostes per un material rígid. Poden ser de molts materials diferents, però en destaquen els de fusta, plàstic dur i també els de porexpan.

- **Aeroplans:** Són els UAV's que tenen forma d'avió. El seu temps d'autonomia és el més gran de tots perquè són els més aerodinàmics. Poden planejar força temps sense necessitat de fer servir el motor. El seu principal desavantatge és a l'hora d'enlairar-se i aterrar, perquè com que no es fa de manera vertical es necessita un espai relativament gran per a fer la maniobra. Tampoc ens permeten fer un vol estàtic, sempre han d'estar en moviment positiu. En canvi són els UAV's ideals per a l'obtenció d'imatges en grans superfícies de terreny, com per exemple en fotogrametria.



Imatge 2.7: UAV d'ala fixa, aeropla. Imatge extreta de: <http://articulo.mercadolibre.com.pe>

Classificació segons la font energètica

Una altra classificació dels UAV's és segons la font energètica que utilitzen per aconseguir la propulsió (*esquema 2*).

Esquema 2: Classificació segons la font energètica.



Font: elaboració pròpia

- **Elèctrica:** La majoria d'aquests UAV estan alimentats amb bateries de LiPo, les quals poden variar el seu voltatge (potència) i amperatge (capacitat d'emmagatzematge) segons la mida i el pes de l'aparell. Aquestes bateries tenen tres avantatges que fan que siguin l'elecció majoritària dels usuaris. Són unes bateries molt lleugeres i que poden ser de qualsevol forma i grandària, tenen gran capacitat que significa que poden emmagatzemar molta energia i també tenen una taxa de descàrrega alta per alimentar els sistemes elèctrics més exigents. Els desavantatges principals són que per a la seva durabilitat s'han de cuidar molt bé, carregant-les i descarregant-les amb un transformador intel·ligent que ens assegurï la durabilitat de la bateria. A més també porten electròlit, que és un material molt volàtil, i pot fer que la bateria s'incendï o fins i tot exploti.



Imatge 2.8: Detall d'una bateria de LiPo. Imatge extreta de: www.articulo.mercadolibre.com

- **Fòssil:** L'energia de propulsió l'obtenen d'un motor de benzina que fa que aquests UAV tinguin una mida i un pes més grans. La seva autonomia pot variar molt en funció sobretot de la grandària i l'ús pel qual han estat pensats. Aquí s'hi encabirien molts dels UAV que s'utilitzen en tasques militars. Inclús poden tenir una grandària igual a un avió militar tripulat.



Imatge 2.9: Detall d'un UAV amb motor de gasolina. Imatge extreta de: <http://www.infouas.com>

- **Renovable:** El camp dels UAV està en plena expansió i segons sembla una de les principals línies d'investigació és la implementació de plaques d'energia solar en els aparells UAV. Aquesta font d'alimentació va lligada a l'energia elèctrica, la diferència és que les bateries estan pensades per carregar-se durant el dia amb l'energia de sol i ser gastades durant la nit per l'endemà tornar-se a carregar. El principal avantatge d'aquest sistema és que permet una autonomia quasi infinita dels aparells. Cosa que fa pensar que en un futur no gaire llunyà podrien substituir moltes de les funcions dels satèl·lits. Ja que són aparells més econòmics i poden aconseguir unes millors resolucions d'imatge.



Imatge 2.10: UAV que funciona amb energia solar, model NASA Pathfinder (plus). Imatge extreta de: <http://www.fiddlersgreen.net>

2.1.3. Legislació

L'evolució de la tecnologia UAV ha fet que els preus dels aparells baixin molt, això ha permès que gran part de la població en pugui tenir. I per a mantenir la seguretat aèria s'ha hagut de regular el seu ús.

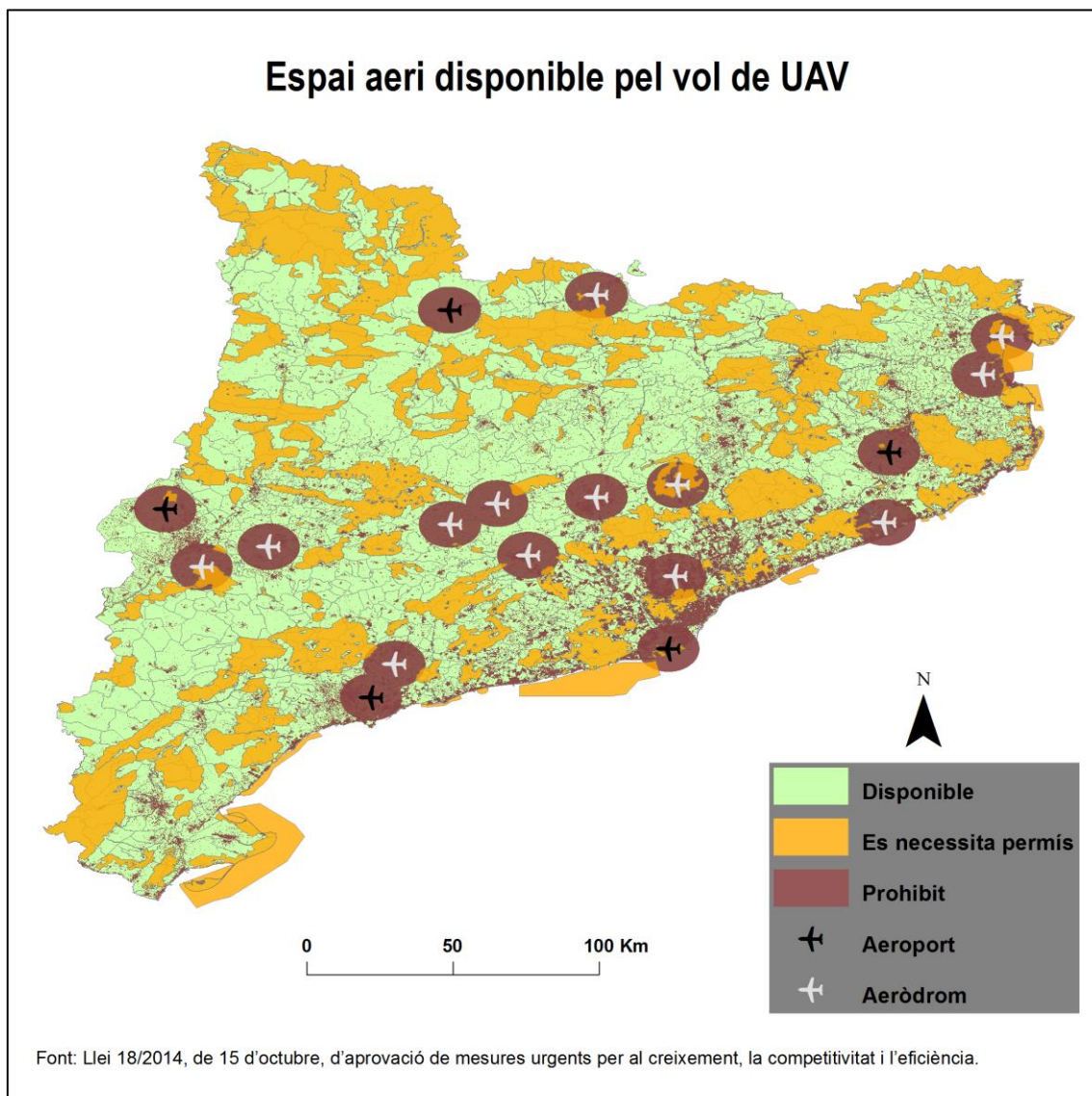
L'any 2014 l'estat espanyol va crear la llei 18/2014, de 15 d'octubre, que regula l'ús de vehicles UAV. Aquesta llei modifica la llei 48/1960, de 21 de juliol, de navegació aèria. La llei té un caràcter temporal ja que s'està a l'espera d'una llei promoguda per la Unió Europea que englobi tot l'espai aeri europeu conjuntament.

Consideracions de la llei:

- Diferència dos classes de UAV els de menys de 25kg i els de més de 25kg que ja requereixen d'un certificat d'aeronavegabilitat.

- Es necessita d'una llicència o carnet per la realització de missions de caràcter professional i acadèmic. Queden exempts de tenir llicència els pilots de vols recreatius o esportius, sempre que pilotin un UAV de menys de 25kg. Tot i això també han de complir unes normes de seguretat:
 - No es pot volar per damunt de ciutats ni aglomeracions de persones a l'aire lliure.
 - No es pot volar de nit.
 - Hi ha d'haver una distància mínima de 8km de un aeroport.
 - El límit d'altura del vol és de 120 metres.
 - S'ha de volar el UAV a una distància visual màxima de 500 metres. En cap cas es pot volar si les condicions visuals no són les òptimes ni es pot perdre de vista el UAV.
 - Els pilots professionals no poden volar sense placa identificativa del UAV.
 - El vol sempre ha de ser per sobre de zones controlades o en clubs de vol.
 - Està prohibit volar per damunt d'espais naturals protegits, sense autorització prèvia.

A continuació es mostra un mapa de Catalunya amb les restriccions a l'hora de volar amb UAV. El mapa és d'elaboració pròpia.

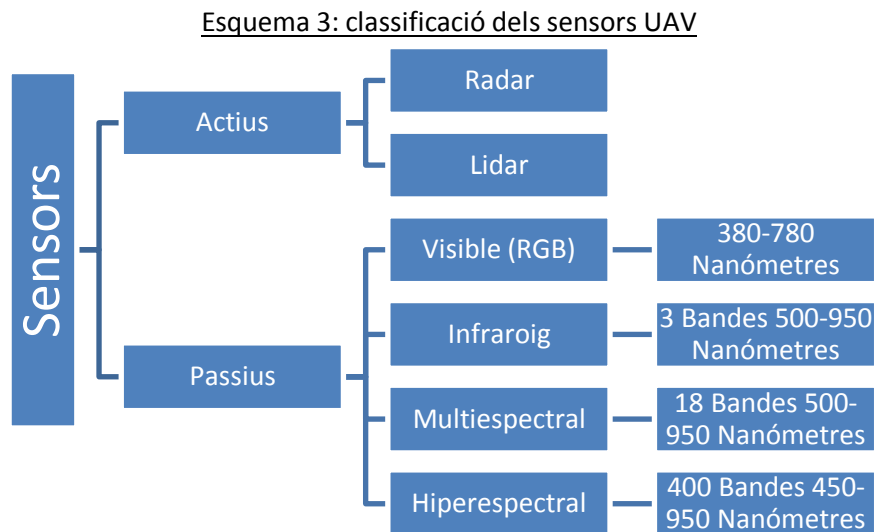


2.1.4. Sensors

Segons el diccionari de l'institut d'estudis catalans, "un sensor és un dispositiu o element sensible a determinats estímuls que és capaç de captar-los i produir uns senyals, generalment elèctrics, que són transmesos a un altre dispositiu o a un sistema que actua d'acord amb els senyals rebuts."

En tecnologia UAV els sensors estan col·locats en el vehicle aeri i són els que capten les dades electromagnètiques, que després els experts ha de processar a través de programes informàtics, per poseterioment analitzar i poder extreure'n els resultats d'un determinat estudi.

Pel que fa a la seva classificació (*esquema 3*) podem distingir dos grans grups, els sensors actius i els sensors passius. Els sensors actius són els que ells mateixos emeten una radiació que després capten mitjançant un reboto. Mentre que els sensors passius reben la reflectància que emet la terra. En aquest cas s'analitzaran els sensors passius que són els que normalment poden incorporar els UAV, ja que els sensors actius normalment són d'una mida i un pes massa grans perquè un UAV els pugui portar.



Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de E.Chuivieco (1990)

- **Visible (RGB):** Són idèntics a una càmera fotogràfica comuna. Capten el rang d'ona que els humans podem veure amb els nostres ulls. La resolució de les fotografies vindrà determinada per la resolució de la pròpia càmera i també segons l'altura a què es realitza el vol, a més altura menys resolució. Així doncs es poden extreure fotografies de qualitat molt bona si es fan vols de baixa altura i amb càmeres d'altres resolucions.



Imatge 2.11: Sony Ilce, càmera fotogràfica que és solament un objectiu. Model ideal per posar en un UAV. Imatge extreta de: <http://www.photographyblog.com>

- **Infraroig:** Capten la temperatura que reflecteix un determinat element. Tenen múltiples aplicacions com per exemple calcular l'estrès hídric d'un cultiu o controlar la direcció d'un incendi durant la nit.



Imatge 2.12: Detall d'un sensor infraroig Imatge extreta de: <http://gammickentertainment.com>

- **Multiespectral:** Aquests sensors poden captar diferents longituds d'ona i seva la combinació ens dona infinitat de dades que un cop tractades ens poden donar molta informació. La selecció de les bandes es fa mitjançant filtres, normalment estudien paràmetres relacionats amb la vegetació. Per això el seu rang d'ona està a prop del RGB, perquè és la longitud d'ona que absorbeixen i reflecteixen les plantes.



Imatge 2.13: Sensor multispectral model Sequoia de la marca Parrot. Imatge extreta de: <https://www.parrot.com>

- **Hiperespectral:** Aquest és el sensor més nou que pot incorporar un UAV, l'evolució de la tecnologia ha permès reduir-ne el pes a menys d'un quilo per això ara ja es pot transportar amb un UAV. Aquest sensor ens dona la màxima informació que podem obtenir en el rang espectral de la vegetació. Poden arribar a captar fins a 400 bandes, per tant cada píxel d'una imatge té 400 valors en funció de quantes bandes s'han seleccionat en la captura. De moment són sensors molt cars, però en els pròxims anys segur que se'n redueix el preu.



Imatge 2.14: Sensor hiperespectral model FX1 de la marca Specim. Imatge extreta de: <http://www.specim.fi/fx/>

2.2. Fotografia aèria i teledetecció

2.2.1. Aproximació història a la fotografia aèria.

L'origen de la fotografia es remunta l'any 1827, quan Nicéphore Niépce va aconseguir fotografiar els primers objectes amb una càmera fosca. Aquests sensors eren molt grans i difícils de transportar, això va dificultar les primeres etapes de la fotografia aèria. L'any 1871 l'inventor britànic Richard Leach Maddox es fa la primera fotografia amb gelatinobromur de plata, que permet ajornar el revelatge de les fotografies. Aquest fet va suposar un canvi de paradigma, que va afavorir l'evolució de la fotografia aèria. Hi ha molta controvèrsia respecte a quina és la primera fotografia aèria de la història, Fernández (2000) defensa que la primera fotografia aèria, la qual no s'ha conservat, és de la dècada dels 50 feta a Petit-Bicetre un poblet pròxim a París i que va ser presa des d'un globus aerostàtic pel fotògraf francès Félix Tournachon (popularment anomenat Nadar). Tot i així la primera fotografia aèria que sí que es conserva va ser feta per James Wallace Black l'any 1860 a la ciutat de Boston. (Imatge 2.14)



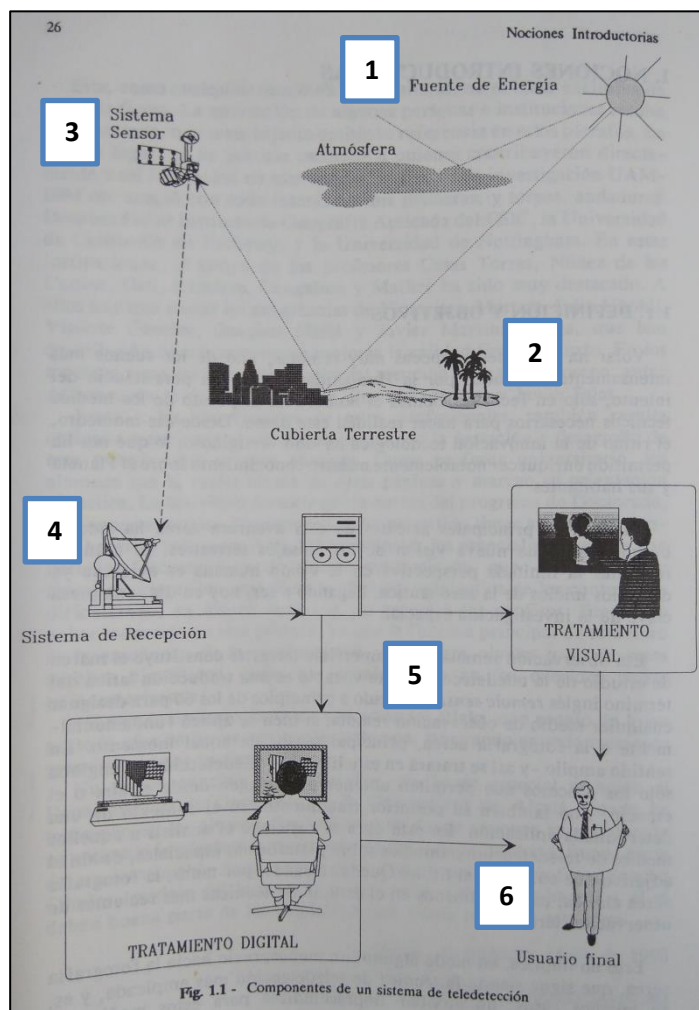
Imatge 2.15: Primera fotografia aèria que es conserva, feta per James Wallace Black l'any 1860 per damunt de la ciutat de Boston. Imatge extreta de <https://ifoton.com/la-primera-fotografia-aerea>

Les primeres fotografies eren preses des de globus aerostàtics, aquest tipus d'imatges van començar a tenir molta importància en el camp militar. Del 1877 al 1885 molts països com França, Rússia i Espanya es van crear serveis d'aerostacions militars per la presa d'imatges aèries. Amb l'arribada dels aeroplans (1903) la tecnologia evoluciona molt, ja que ara els vehicles aeris es poden dirigir i la trajectòria del vol ja no depèn tant de les condicions ambientals, com en els globus aerostàtics. El 1913 es fa una de les primeres operacions de presa d'imatges aèries amb aeroplans, feta per l'exèrcit espanyol al Marroc, en el context del conflicte militar de la Guerra del Rif. En la primera guerra mundial la tecnologia aeronàutica avança molt i fa que les imatges aèries passin a ser una eina essencial pels conflictes bèl·lics. En la segona guerra mundial encara es fa més notable aquest avenç tecnològic, s'incorporen les

càmeres infraroges (creades per l'empresa Kodak) i els dispositius radar, fent que es millorin els plans de vol, i que les plataformes d'obtenció d'imatge siguin més estables i eficaces. Més endavant, ja a la guerra freda, comença la "carrera espacial", amb això arriben les primeres imatges espacials de la superfície de la terra fetes per Alan B. Sheppard, l'any 1961. A partir d'aquí es va descobrint el gran potencial que poden tenir aquestes imatges, sobretot per part de la NASA que posa en marxa les missions del Apollo-6 i Apollo-7. Ara bé el pas definitiu és el 23 de juliol de 1972 quan es llança el primer satèl·lit amb l'únic objectiu d'enviar imatges de la terra des de l'espai, el Landsat. Posteriorment altres països i organitzacions s'han interessat per a l'obtenció d'imatges des de l'espai i hi han enviat molts més satèl·lits. Actualment hi ha un gran ventall de satèl·lits que proporcionen imatges multispectrals de resolucions altes, però a més s'hi ha incorporat els vehicles aeris no tripulats (drons) que han revolucionat el món de les imatges aèries i són el motiu d'estudi d'aquest treball de final de grau.

2.2.2. Teoria de la teledetecció.

Definim teledetecció com aquella tècnica que permet obtenir imatges de la superfície terrestre des de sensors instal·lats en plataformes espacials o aèries (E. Chuvico, 1990). Per a definir i entendre encara millor aquest concepte s'adjunta i s'explica una figura extreta del llibre "Fundamentos de teledetección espacial" d'Emilio Chuvico (1990).



Imatge 2.16: Esquema dels components d'un sistema de teledetecció.

Per captar imatges hi ha d'haver un flux d'energia entre un emissor i un receptor, el sensor ha d'estar col·locat entremig per poder captar el flux energètic, que serà enviat a un receptor d'on es podran tractar les dades per finalment fer una anàlisi.

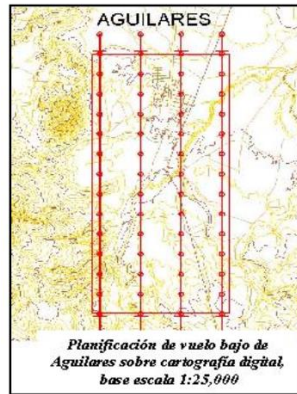
- 1) Font energètica: És l'origen del flux energètic. Pot ser de dues tipologies, segons el tipus de sensor que capti la informació. Com s'explica en el punt 2.1.3. hi ha dos tipus de sensors, passius i actius. Els actius fan ells mateixos de font energètica, mentre que els passius capten l'energia d'un altre actor, majoritàriament l'energia solar. En aquest cas cal tenir en compte els factors atmosfèrics que fan variar els components de l'energia solar, com per exemple la presència de núvols.
- 2) Coberta terrestre: És la massa de vegetació, sòl, aigua i construccions antròpiques que reben l'energia de la font energètica i la reflecteixen segons les seves característiques físiques (reflectància).
- 3) Sensor: Està format pel sensor i la plataforma que el sustenta, en aquest cas la plataforma de sustentació és el satèl·lit i el sensor un multispectral. Però en el nostre cas d'estudi la plataforma de sustentació seria el UAV i el sensor una càmera fotogràfica. El sensor capta l'energia de la reflectància de la superfície terrestre per després emmagatzemar-la i/o enviar-la al sistema de recepció.
- 4) Sistema de recepció: És el que rep les imatges procedents del sensor, en aquesta fase normalment es realitzen les correccions atmosfèriques prèvies al processament de les imatges. Com poden ser l'eliminació de núvols o correccions basades en la distorsió de les imatges per culpa de la curvatura de la terra.
- 5) Tractament de les imatges: La manera més simple és el tractament visual, on l'observador mira i compara les imatges mitjançant la seva vista i el seu bagatge cultural. L'altra manera és a partir de tractaments digitals, molts sensors ens proporcionen una tipologia d'informació que no és perceptible per l'ull humà. Per això s'han de codificar i representar les imatges de tal manera que en puguem analitzar els resultats. Aquest procés normalment es fa amb programes informàtics.
- 6) Usuari final: És a qui van dirigides les imatges.

2.2.3. Planificació del vol i solapament d'imatges

Quan es vol fotografiar una zona per extreure una ortofoto d'alta resolució s'han de fer vols baixos per aprofitar al màxim la resolució de la càmera. Això provoca que es necessita més d'una fotografia per poder cobrir tota l'àrea d'estudi.

Perquè això sigui possible s'ha de fer un pla de vol (imatge 2.18) que recobreixi tota la superfície del terreny a cartografiar i indiqui en quins punts s'han de fer les fotografies. En la imatge 2.18 les línies de color vermell són les passades que fa una avioneta per damunt de la zona d'estudi, i els punts vermells del damunt són el lloc concret on es fa la fotografia. En el cas dels UAV es fa a través de programes informàtics automatitzats (explicat en la metodologia punt 3.2.1.).

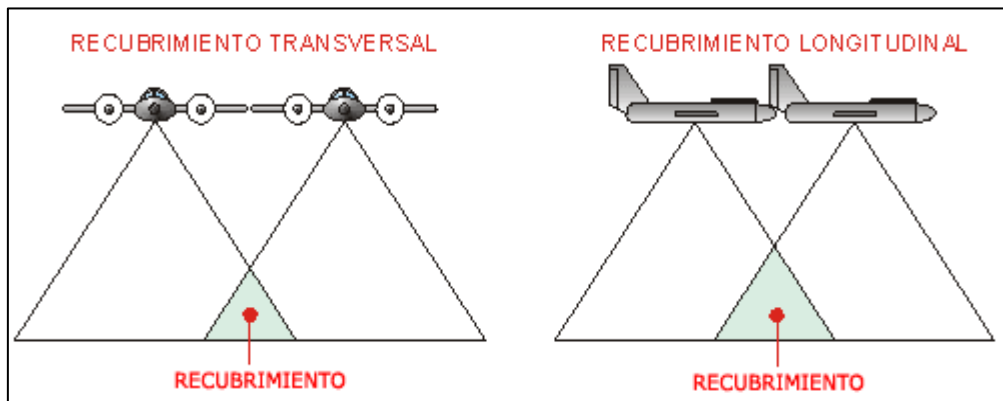
Imatge 2.18: Exemple d'un pla de vol



Font: <http://www.kumbaya.name/ci2412/gps/mapas/4-2-Fotografias-aereas.pdf>

Per aconseguir uns bons resultats aquestes fotografies s'han de solapar. Existeixen dos tipus de solapament, transversal i longitudinal (imatge 2.19).

Imatge 2.19: Solapament transversal i longitudinal



Font: http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_07/Fotogrametria/Fotogrametria_index.html

- **Solapament transversal:** és el percentatge de solapament entre dos fotografies que estan en línia adjacent.
- **Solapament longitudinal:** és el percentatge de solapament entre dos fotos consecutives en direcció a la línia de vol.

Normalment aquests solapaments acostumen a ser del 60% en l'eix longitudinal i del 20% en l'eix transversal. Tot i que poden variar molt els valors en funció de quina sigui la finalitat de les ortofotos

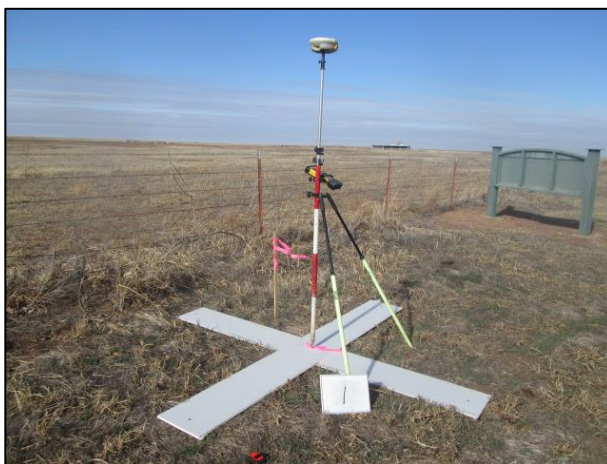
2.2.4. Procés d'obtenció d'una ortofoto

Les fotografies aèries ens poden aportar molta informació sobre un determinat territori. Però tenen una sèrie de limitacions geomètriques, que fan que no es pugin considerar un mapa. Perquè siguin un mapa s'han de georeferenciar i ortorectificar. Fent aquests processos es passa d'una fotografia aèria a un ortofotomapa. Els softwares explicats en la metodologia del treball fan aquests processos.

Segons l'empresa CATUAV, especialitzada en l'obtenció de fotografia aèria mitjançant UAV, "Les ortofotos són fotografies aèries que s'han corregit geomètricament de manera que l'escala entre elles sigui uniforme. Aquesta correcció consisteix en associar cada píxel a una coordenada geogràfica. Les ortofotos resultants estan lliures d'errors i deformacions, amb la mateixa validesa que un mapa cartogràfic, i és per aquest motiu que constitueixen una representació exacta de la superfície de la Terra que pot ser utilitzada per mesurar distàncies." (CATUAV, Extret de: <http://www.catuav.com/ca/ortofotos>, en data de 22/05/2017)

Les fotografies aèries són una representació cònica de la superfície de la terra, no tenen en compte ni el relleu ni l'angle en que està presa la imatge. Amb el procés d'ortorectificació es passa d'una representació cònica a una representació ortogonal, que elimina les deformacions tenint en compte el relleu del territori.

L'altre procés de rectificació és la georeferenciació, que vol dir que s'estableix per a cada píxel una coordenada geogràfica. Per fer una georeferenciació excel·lent s'han de fer servir punts de control. Aquests punts es col·loquen repartits per la superfície del terreny d'on es vol fer l'ortofoto, i es mesura la posició geogràfica amb un GPS precís. Com que les imatges que s'agafen surten representats els punts, i el programa sap la coordenada exacte d'aquets, li és més fàcil i precís extrapolar aquesta informació a la resta de píxels de la ortofoto.



Imatge 2.20: Punts de control pel procés de georeferenciació. Extreta de: <https://www.heliguy.com/blog/2015/07/22>

3. Metodologia

En aquesta part es descriu per passos com s'ha fet per a obtenir ortofotomapes a través d'imatges fetes amb un UAV, des de la planificació del pla de vol fins al processament final de les imatges. Com ja s'apunta en l'estructura i resum de continguts, en aquest treball es vol fer una anàlisi metodològica comparativa de tres vols diferents sobre una mateixa zona que té una superfície d'una hectàrea, on si ha volat a diverses alçades: 40 metres, 60 metres i 80 metres. Primer s'ha realitzat el pla de vol, després s'ha efectuat el vol i finalment s'ha fet el processament final de les imatges de dues maneres, una amb un software virtual i l'altre amb un software d'escriptori. Obtenint finalment tres plans de vol i sis ortofotomapes diferents.

La metodologia està estructurada en tres apartats, primer de tot s'expliquen les característiques tècniques de l'eina principal utilitzada, el UAV. Després s'explica com s'han fet els tres plans de vol i finalment s'indica com s'ha realitzat el procés de tractament de les imatges.

3.1. Característiques tècniques del UAV utilitzat

Per la realització d'aquest estudi s'ha utilitzat un UAV quadricòpter de la marca DJI, concretament el model Phantom 3 versió estàndard. Aquest model té incorporat una càmera integral (que no es pot canviar) de 12 mega píxels. La taula 3.1. mostra les principals característiques del model utilitzat per a aquesta tasca.



Imatge 3.1: DJI Phantom 3 versió estàndard. Extreta de www.dji.com

Taula 3.1. Característiques tècniques del UAV utilitzat.

Pes (bateria i hèlices incloses)	1216 g
Mida diagonal (hèlices excloses)	350 mm
Velocitat màx. en ascens	5 m/s
Velocitat màx. en descens	3 m/s
Velocitat màx.	16 m/s (mòdul ATTI, sense vent)
Màx. autonomia de vol	Aproximadament 25 minuts
Temperatura de funcionament	de 0°C a 40°C
Modo GPS	GPS
Sensor	1/2.3", Píxels efectius 12M
Lent	FOV 94° 20 mm (35 mm format equivalent)
Rang ISO	100-3200 (vídeo) 100-1600 (foto)
Velocitat del obturador	8s -1/8000s
Tipus de targetes SD compatibles	Targeta Micro SD 8Gb inclosa
Voltatge	17.4 V
Potència nominal	57 W
Sistema operatiu requerit	<ul style="list-style-type: none"> • iOS 8.0 ó posterior • Android 4.1.2 ó posterior

Font: www.dji.com

3.2. Software

En general els UAV que s'utilitzen per a l'obtenció d'imatges aèries tenen un funcionament molt automatitzat mitjançant programaris o aplicacions mòbil. Aquest avenç tecnològic ha proporcionat que un ampli ventall de població pugui accedir aquestes tecnologies d'una manera fàcil i automatitzada. També existeixen molts UAV que tenen característiques més manuals però aquests estan reservats a l'àmbit lúdic, com les carreres de drons.

A continuació s'ha cregut oportú d'exposar una metodologia explicativa per entendre el funcionament d'aquests programaris, definint les paraules clau del vocabulari específic de l'àmbit dels UAV perquè el lector pugui entendre millor com està plantejada la part metodològica d'aquest treball. Per fer-ho s'ha estructurat aquest punt en dos apartats, un per als programaris de pre-vol i l'altre pels programaris de post-vol.

3.2.1 Pre-vol

Per a fer les operacions de pre-vol s'ha triat l'app Pix4Dcapture, a través d'un mòbil amb sistema operatiu android. Aquesta aplicació per a mòbils i tauletes és una de les més senzilles i intuïtives d'utilitzar.

Els programes de pre-vol són els que serveixen per definir quina ruta farà el UAV i quan s'ha de disparar el sensor òptic mentre es realitza el vol, d'aquesta definició en direm **pla de vol**. En l'ús de UAV per l'extracció de fotografies aèries en l'àmbit acadèmic de la geografia, normalment el que es vol fer, són fotografies d'un territori prèviament definit, que és l'àmbit d'estudi.

Els programaris de pre-vol normalment s'instal·len en dispositius mòbils o tauletes perquè així sigui més fàcil crear o modificar una ruta de vol quan estàs a camp. El funcionament principal és el de definir una àrea de vol mitjançant un polígon que s'incrusta damunt d'un visor de mapes (tipus Googlemaps) que el mateix programari ja porta incorporat (*Imatge 3.2*).




Imatge 3.2: Exemple d'un polígon de pla de vol.



Font: elaboració pròpia amb el software de pre-vol PIX4D Capture.

A part de definir l'àrea on es vol fer el vol, s'han de decidir altres paràmetres, explicats en la taula 3.2. Aquests paràmetres més la delimitació del polígon d'actuació és el que permetrà al programari de pre-vol, de manera totalment automàtica, definir la ruta i decidir quan s'ha de disparar el sensor òptic.

Taula 3.2: Paràmetres del pla de vol

<p>Tipus de vol</p>	<p>És la forma de la ruta que farà el UAV. Aquesta varia en funció de quina sigui la finalitat de les imatges, principalment hi ha dues finalitats: extreure imatges per a fer models 2D (ortofotomapes) i extreure imatges per a fer models 3D (mapes d'elevacions del terreny). Els principals models de vol són:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Malla: és la millor forma per a fer models en 2D. L' UAV va fent passades disparant les fotografies en ziga-zaga. Les fotografies sempre estan fetes amb la mateixa direcció de la càmera.  - Doble malla: és la millor forma per a fer models 3D on es vulgui fotografiar una gran superfície de terreny. L'UAV fa passades disparant les fotografies en ziga-zaga primer en una orientació i després en la posició oposada, per així tenir totes les orientacions del territori a cartografiar.  - Circular: aquesta forma també és idònia per obtenir models 3D, a diferència de l'anterior va millor per representar estructures com per exemple un edifici. 
<p>Altitud</p>	<p>És l'alçada a la qual es farà el vol. Per a definir-la primer de tot s'ha de tenir en compte quina altura tenen els elements que es volen cartografiar, ja que l'UAV ha d'anar sempre per sobre, si no toparia contra algun element del terreny com un arbre o un edifici. L'altre paràmetre que s'ha de tenir en compte és la relació:</p> <p>Alçada <-> nombre de passades de la malla <-> qualitat de les imatges</p> <p>Com més a prop volem del terreny (alçada baixa) més nombre de passades haurà de fer el UAV per a poder capturar la superfície total del terreny, ja que la superfície que engloba el sensor òptic serà més petita. Però la qualitat de les imatges serà més gran perquè les imatges estaran fetes de més a prop. Aquesta relació és inversament proporcional amb vols de més altura, la malla no tindrà tantes ziga-zagues però la qualitat de les imatges serà més petita. Cal tenir en compte que com més ziga-zagues fa la malla més temps de vol es necessita per a cartografiar la zona i per tant s'ha d'adequar a l'autonomia que tingui el UAV.</p>
<p>Superposició de les imatges</p>	<p>Normalment la superfície que s'ha de representar no es pot englobar amb una sola fotografia perquè és més gran, en calen més, després s'han d'agafar totes les fotografies i processar amb un programa de post-vol (explicats en el punt 3.2.2). Perquè el programa de post-vol sàpiga com ajuntar cada fotografia, aquestes han d'estar superposades.</p> <p>Aquest paràmetre defineix quin tant per cent de cada imatge ha d'estar superposat per les seves imatges consecutives. Les recomanacions de superposició que fan els programes de pre-vol varien entre el 80% i el 60%. A més superposició, més imatges generades en cada vol, però també més qualitat de la imatge final una vegada ha estat restituïda.</p>

Angle de la càmera	És l'angle en què el sensor òptic fa la fotografia respecte al terreny. Si l'angle és de 90°, la fotografia està feta de manera perpendicular al terreny. La configuració d'aquest paràmetre va en relació al tipus de projecte final que es vulgui realitzar. Per a fer models 2D o ortofotomapes es faran les fotografies en un angle de 90° i per a fer models 3D o models d'elevacions es faran les fotografies amb un angle més agut perquè així el sensor pot captar més reflectància dels elements alçats del terreny.
---------------------------	---

Així doncs tenint en compte aquest paràmetres s'han fet tres plans de vol diferents variant l'altura a 40 m, 60 m i 80 metres. A l'apartat 4.1. es presenten els resultats i s'entra en la discussió d'aquests.

3.2.2. Post-vol

Per a realitzar el procés de tractament de les imatges de post-vol, hi ha una gran quantitat de softwares al mercat. És realment difícil saber quin ens interessa en cada cas. En general tots els programes que existeixen són de pagament, tot i que molts tenen versions de prova gratuïtes. El món dels *opensource* està començant a tractar aquests temes, però de moment només existeix un sol programa al mercat, que funciona a través de comandes amb sistema operatiu Linux. En aquest treball s'ha triat un software de pagament i un software amb una versió de prova gratuïta per així poder observar les diferències, s'ha descartat utilitzar el software *opensource* per la complexitat afegida que exigeix treballar amb un sistema operatiu Linux.

Normalment es necessita més d'una fotografia aèria per a cobrir tota la superfície de l'àrea que es vol cartografiar. A més, com ja s'explica en la metodologia de pre-vol, les imatges tenen un tant per cert de superposició en funció de quins siguin els objectius finals. El que es busca d'aquests programes és passar d'un conjunt d'imatges preses amb un UAV a una de sola, que estigui ortorectificada i georeferenciada, convertint-se amb una ortofoto.

Els dos softwares triats en aquest estudi són el PIX4D versió educativa i el DroneDeploy. La diferència principal entre ells és que el primer és un tipus de programa desktop i el segon és un programa online, que per a treballar no és necessari tenir l'ordinador engegat. Tot seguit s'expliquen els detalls de cadascun.

3.2.2.1. Software PIX4D



S'ha utilitzat la versió de pagament educativa del programa. Aquest software fa el tractament de les imatges amb processos de triangulació fotogràfica. Es poden trobar diversos programes desktop de processament de les imatges post-vol, però dins del mercat és el més ben valorat, (Nuñez, 2016). El PIX4D és un programa que realitza tot el cicle complet de mapeig des de la fase del pre-vol a la del post-vol, i aquesta és l'avantatge principal respecte els altres programes de la competència. Es pot dividir el processament en tres fases:

- Pre-vol: L'aplicació que fa aquesta fase és el PIX4D capture, gratuïta per Android i Apple. Aquesta aplicació és molt senzilla i intuïtiva pel que fa al seu ús. Ràpidament es pot generar un pla de vol per cartografiar una zona, després es connecta amb el UAV i li envia el pla de vol perquè automàticament faci la missió.
- Vol: El control in situ del vol també es fa amb el PIX4D capture, que porta incorporat un visor de vol del UAV, porta un botó per avortar la missió en cas d'alguna incidència. Una vegada feta la missió el mateix programa envia les fotografies registrades a un núvol virtual d'emmagatzematge del mateix programa, el PIX4D Cloud.
- Post-vol: L'última fase del procés es fa amb el Pix4Dmapper Pro, que és la versió desktop del software. Des del programa pots entrar directament al teu compte privat del PIX4D Cloud i descarregar les imatges. Si no també es poden carregar les imatges directament del UAV.

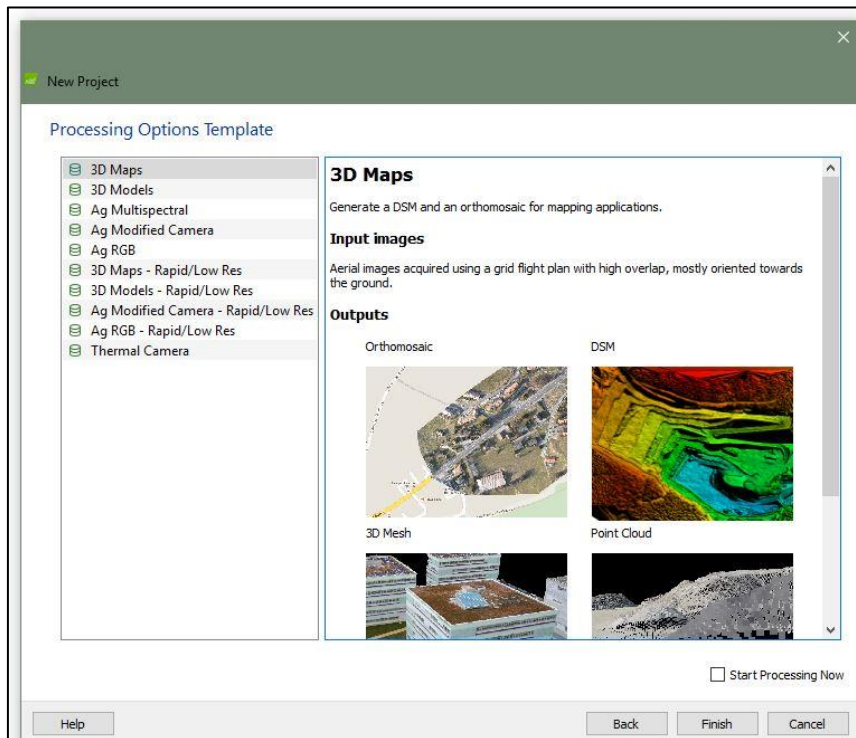
Esquema 3.1. : Cicle complet del software PIX4D



Font: <https://pix4d.com/hybrid-innovation-extret-en-data-de-20/05/2017>

El PIX4D té un ampli ventall de mòduls de tractament de les imatges, en aquest estudi s'han fet tots els processaments amb el mòdul "Mapas 3D" (imatge 3.3). Els productes que es generen són: Ortofotomapa, model digital d'elevacions, malla 3D i núvol de punts.

Imatge 3.3: Captura de pantalla de la tria dels mòdul de processament de mapes 3D.



Font: Elaboració pròpia amb el programari PIX4D

Primer de tot el programa busca les cadenes de píxels coincidents a entre fotografies per a fer la superposició de les imatges, i saber la posició exacta de cadascuna. Per a facilitar aquesta tasca és molt important que la càmera del UAV enregistri metadades de posició (GCP), o s'incorpori un arxiu pla que referencii les imatges. Si no hi ha molts errors en el resultats. Després genera el núvol de punts, anomenat "RayCloud", ho fa mitjançant una metodologia pròpia que combina el núvol de punts amb les imatges originals. I finalment genera l'ortofotomapa i el model digital d'elevacions.

3.2.2.2. Software Dronedeploy.

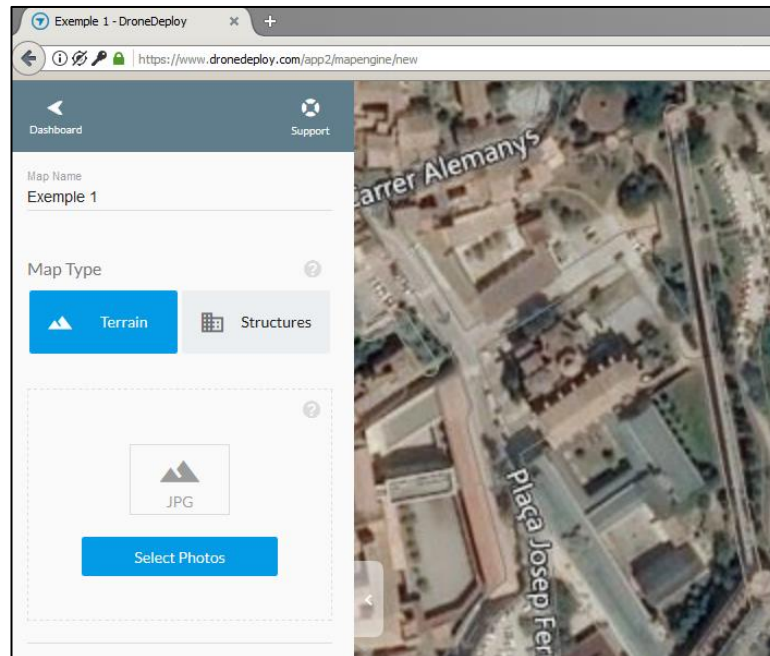


Per a fer aquest estudi s'ha utilitzat la versió gratuïta del software. Aquesta versió té una durada de 30 dies. Els processos que utilitza són els mateixos que el PIX4D, basats en la triangulació fotomètrica.

La característica principal que el fa diferent del PIX4D és que aquest programa funciona de manera online. Per utilitzar-lo no és necessari descarregar el programa ni instal·lar-lo al nostre ordinador. Ja que aquest programa només està disponible amb la seva versió web. Per utilitzar-lo t'has de registrar a la seva pàgina web, on se't crea un perfil d'usuari.

El software consta de dos mòduls de treball, terreny i structures (imatge 3.4). El primer és el que s'ha utilitzat en aquest treball, perquè la finalitat que té, és centrar-se en models de terreny posant l'accent en extreure productes enfocats en la representació 2D. L'altre mòdul treballa més enfocant al 3D sobretot d'elements únics i voluminosos com poden ser edificis.

Imatge 3.4: Interface per pujar les imatges del UAV



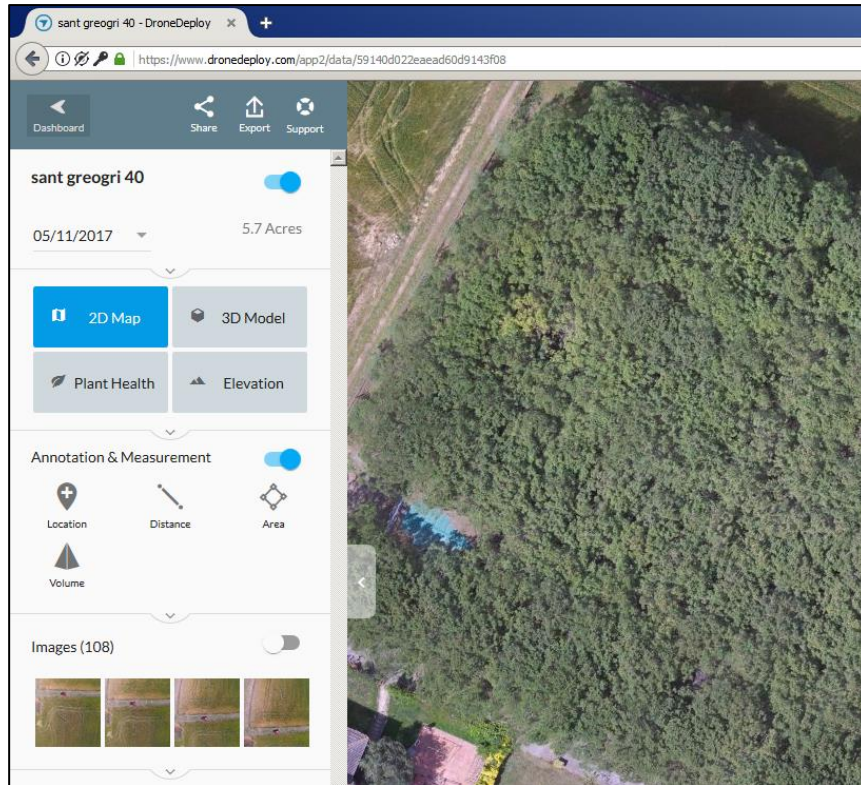
Font: [dronedeploy.com](https://www.dronedeploy.com)

Tot i així els dos mòduls treuen els mateixos productes finals però cadascun especialitzat en la seva virtut. Aquests productes són (imatge 3.5):

- 2D Map o una ortofoto
- 3D model
- PlantHealth, és NDVI aproximat perquè les imatges no estan preses amb cap càmera multiespectral.
- Elevation, és un model digital d'elevacions DSM (*Digital Surface Model*).

Així doncs, s'han de carregar les imatges fetes amb el UAV en aquest visor web. La tipologia d'imatges que permet carregar només poden ser imatges que ja tenen la posició geogràfica en les metadades, aquest programa no permet carregar arxius plans, de tipus .log, per ajudar en el procés de superposició d'imatges. Després cal seleccionar el tipus de mapa que volem fer (terreny o structures) i llavors la pàgina web comença el seu procés de tractament. Quan finalitza t'envien un correu electrònic a l'e-mail amb el qual t'has registrat, i llavors ja pots exportar el producte que vulguis per al teu estudi.

Imatge 3.5: Interface de selecció de productes finals



Font: [dronedeploy.com](https://www.dronedeploy.com)

Com també es pot veure en la imatge 3.5 el programa ens permet fer una sèrie de càlculs una vegada ja ha processat les imatges. Ens pot calcular la posició geogràfica, distàncies, àrees i volums. D'una manera molt fàcil i intuïtiva, només cal clicar en l'eina i marcar punts de referència en funció de la informació que volem obtenir.

4. Resultats i discussió

En aquest punt s'exposen i es comenten els resultats obtingut mitjançant les metodologies explicades anteriorment. L'apartat està organitzat en dos punts, un pels resultats de pre-vol i l'altre pels resultats de pos-vol.

En la part de pre-vol (apartat 4.1) s'exposen i es discuteixen els paràmetres de vol que s'han obtingut i els mapes generats del pla de vol.

En la part de post-vol (apartat 4.2) s'exposen i es discuteixen els informes de qualitat generats pels mateixos softwares de tractament d'imatges i les ortofotos obtingudes. A més també es valora de manera comparativa la qualitat i els errors de les ortofotos generades en cada *software* (pàgina 44).

Al final de tot es farà una discussió global dels resultats de pre i post vol per intentar determinar, amb l'experiència obtinguda, quins paràmetres s'han d'aplicar en les respectives metodologies per extreure una ortofoto adequada a les necessitats finals a que aquesta estigui destinada.

4.1.Pre-vol

Exposició dels els paràmetres de vol que s'han obtingut i els mapes generats del pla de vol:

Vol 1: Realitzat a 40m



Superfície	1 ha
Tipus de vol	Malla
Altitud	40 m
Superposició de les imatges	80%
Angle de la càmera	90º
Longitud del recorregut del UAV	866,2 m
Nº de fotografies obtingudes	108
Temps estimat de vol	5min:30s

Vol 2: Realitzat a 60m



Superfície	1 ha
Tipus de vol	Malla
Altitud	60 m
Superposició de les imatges	80%
Angle de la càmera	90º
Longitud del recorregut del UAV	657,5 m
Nº de fotografies obtingudes	63
Temps estimat de vol	4min

Vol : Realitzat a 80m



Superfície	1 ha
Tipus de vol	Malla
Altitud	80 m
Superposició de les imatges	80%
Angle de la càmera	90º
Longitud del recorregut del UAV	552,8 m
Nº de fotografies obtingudes	46
Temps estimat de vol	4min

Discussió dels resultats de pre-vol

Observant els resultats dels paràmetres i els mapes del pla de vol es poden extreure un seguit de objeccions, que seran essencials a l'hora de planificar el nostre vol en funció de quin sigui el UAV que es vulgui utilitzar, ja que una de les limitacions principals és l'autonomia de la bateria. Que per tant limita el temps de vol i el recorregut que aquest pot fer.

El més important que cal observar és la relació que hi ha entre l'alçada i totes les altres variables. Com més amunt fem volar el UAV, més superfície de terreny agafa cada imatge. Això fa que la longitud del recorregut (que ha de fer per a cobrir la mateixa superfície de terreny) sigui més petita, que el temps de vol sigui més curt i que el número de fotografies que ha de realitzar també sigui menor.

Després caldrà veure quina qualitat d'imatge s'obté en cada vol per acabar de fer una bona planificació, en funció, sempre, del tipus de resultats finals que es vulguin obtenir.

4.2. Post-vol

Primer que tot s'exposen les sis ortofotos que s'han obtingut. Aquestes estan organitzades de la següent manera:

- Ortofoto 1A: Vol a 40 metres processada amb el programari PIX4D.
- Ortofoto 1B: Vol a 40 metres processada amb el programari Dronedeploy.
- Ortofoto 2A: Vol a 60 metres processada amb el programari PIX4D.
- Ortofoto 2B: Vol a 60 metres processada amb el programari Dronedeploy.
- Ortofoto 3A: Vol a 80 metres processada amb el programari PIX4D.
- Ortofoto 3B: Vol a 80 metres processada amb el programari Dronedeploy.

Les ortofotos es presenten tal i com han sigut generades pel respectiu programa de processament, no s'han retallat, per poder apreciar millor les diferències.

Ortofoto 1A: Vol a 40 metres processada amb el programari PIX4D.

- Ortofoto 1B: Vol a 40 metres processada amb el programari Dronedeploy.

- Ortofoto 2A: Vol a 60 metres processada amb el programari PIX4D.

- Ortofoto 2B: Vol a 60 metres processada amb el programari Dronedeploy.

- Ortofoto 3A: Vol a 80 metres processada amb el programari PIX4D.

3b

Comparativa de les ortofotos a la mateixa altura processades amb programes diferents:

Com a aspectes generals s'ha d'apuntar que per defecte les ortofotos tractades amb el programa PIX4D tenen una dimensió més gran i l'àrea d'extensió que no hi ha dades queda de color negre. Tot i així a posteriori el programa té una eina que permet retallar-les. A diferència el dronedeploy automàticament retalla l'ortofoto en funció de l'àrea del pla de vol.

- 1A – 1B: L'ortofoto 1B presenta unes taques blanques que no presenta l'ortofoto 1A, però cal dir que aquestes taques no estan situades al centre de la imatge, sinó que estan a les vores de l'extensió del pla de vol. Tal vegada perquè el programa dronedeploy no fa una dimensió d'ortofoto tan gran com la del PIX4D i centra els seus esforços en fer les parts centrals de la imatge.
- 2A – 2B: Deixant de banda la diferència l'extensió, que ja s'ha comentat anteriorment, les dues ortofotos són pràcticament idèntiques.
- 3A – 3B: Deixant de banda la diferència l'extensió, que ja s'ha comentat anteriorment, les dues ortofotos són pràcticament idèntiques.

Només s'han pogut trobar diferències clares en les imatges extrems del vol a 40 metres, el que presenta una resolució major. Probablement perquè les imatges estan fetes des de més a prop, hi ha més imatges a processar, per obtenir l'ortofoto final i això és el que pot provocar més errors i diferències.

Comparativa dels resultats de la resolució de les ortofotos

L'anàlisi dels resultats del procés de post-vol estarà centrat amb la variable "mitjana de píxel de mostreig" (Average Ground Sampling Distance – GSD), expressada amb la unitat de mesura polzades per píxel (in/pix). Que ens indica la mida mitjana que fa cada píxel de l'ortofoto. Com més petita és aquesta variable més gran és la resolució de la imatge.

A continuació es mostra una taula on es comparen els diferents GSD que s'han obtingut per cada ortofoto mitjançant les diverses metodologies explicades.

Taula 4.2: Resultats dels informes de qualitat dels ortofotomapes, generats pels propis programes.

	Vol a 40 metres		Vol a 60 metres		Vol a 80 metres	
Software de processament	PIX4D	Dronedeploy	PIX4D	Dronedeploy	PIX4D	Dronedeploy
GSD (Average Ground Sampling Distance)	0,59 in/pix	0,6 in/pix	0,98 in/pix	0,9 in/pix	1,28 in/pix	1,2 in/pix
Pes informàtic	274 MB	239 MB	161 MB	277 MB	121 MB	141 MB

A la pàgina següent s'exposen sis imatges comparatives de les respectives ortofotos, on s'ha agafat un objecte comú (cotxe) per poder observar millor les diferències de manera visual.

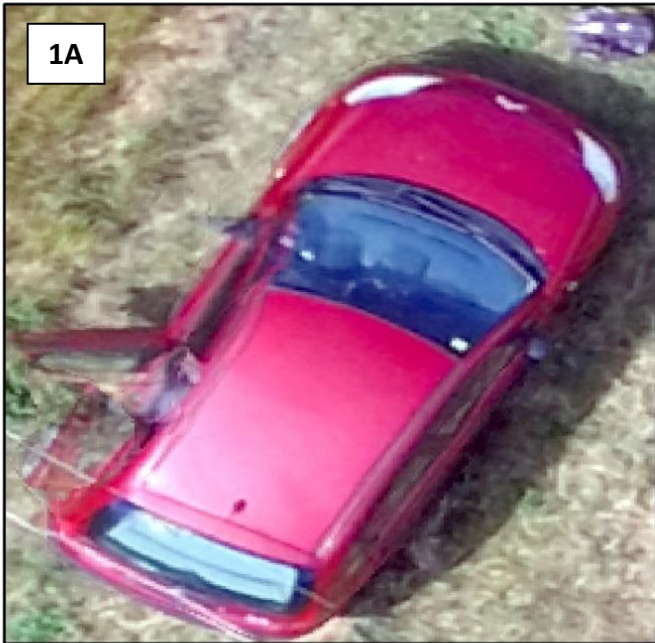
Discussió dels resultats de la resolució de les ortofotos

Com es pot observar a la taula 4.2. i a les imatges comparatives del cotxe, l'ortofotomapa que té més resolució és l'1A, amb una grandària de píxel de 0,59 polzades (1,49 centímetres). En canvi l'ortofoto que té menys resolució és la 3A, amb una grandària de píxel d'1,28 polzades (3,25 centímetres).

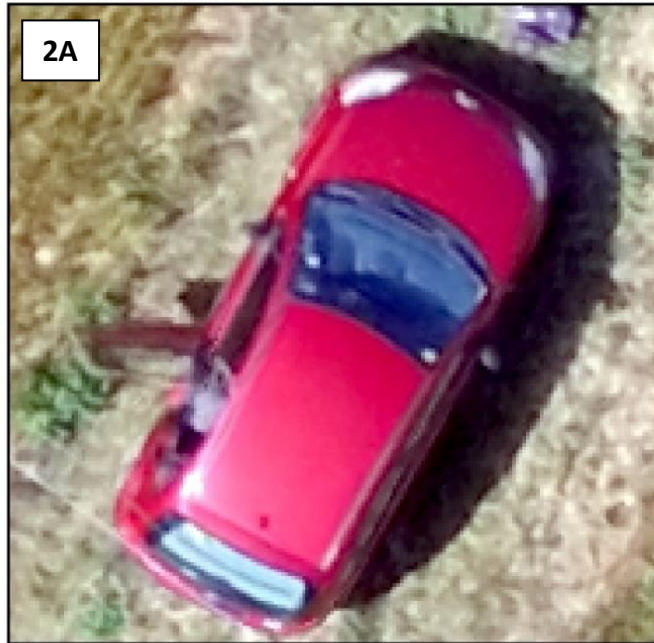
No hi ha gaire diferència dels resultats segons el programa que s'utilitzi. Fent el processament de les mateixes imatges amb el PIX4D o el Dronedeploy, les diferències són mínimes, de com a molt 0,1 polzades (0,254 centímetres).

En canvi sí que hi ha més diferència de resultats entre els vols fets a diferents altures. Els resultats obtinguts indiquen que per cada 20 metres que augmentem en l'altura del vol, disminueix la resolució 0,3 polzades (0,726 cm).

Vol a 40 m processat amb PIX4D



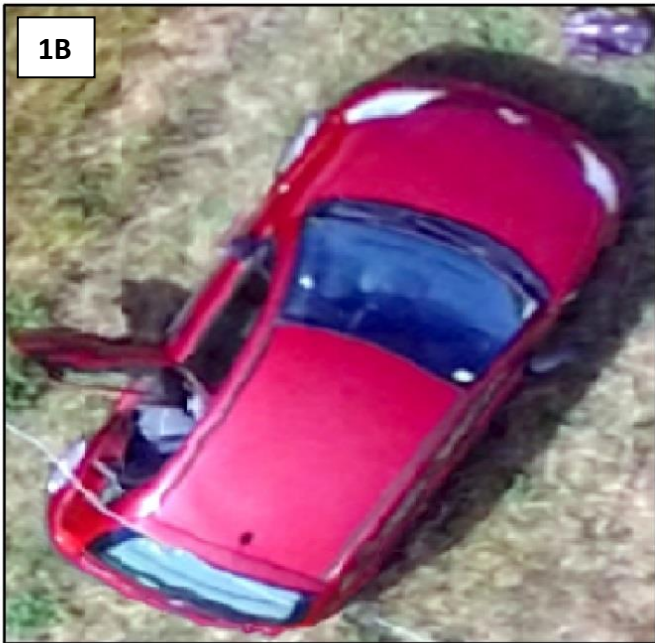
Vol a 60 m processat amb PIX4D



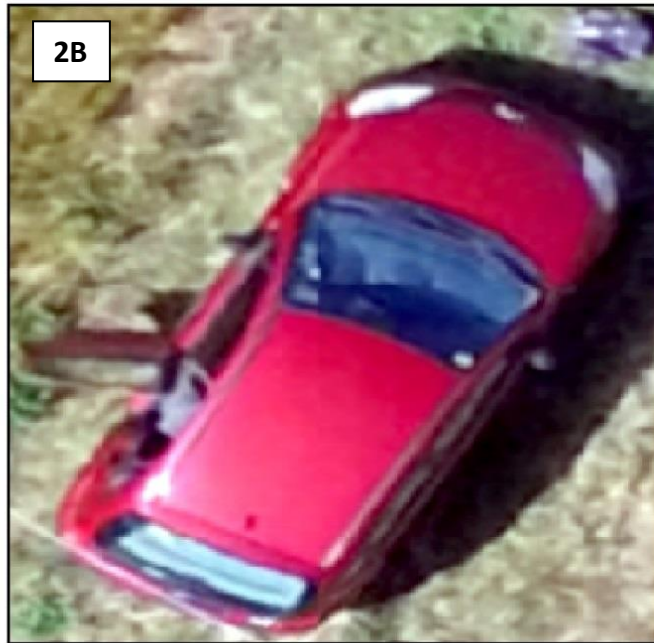
Vol a 80 m processat amb PIX4D



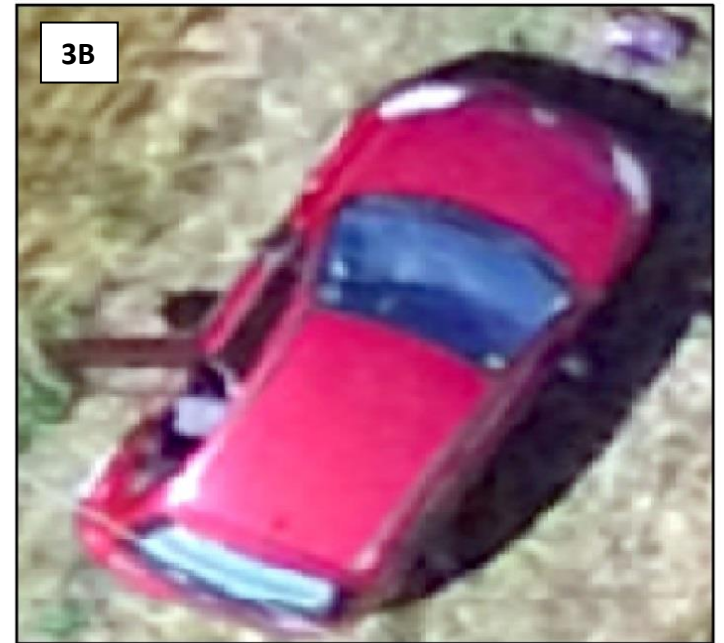
Vol a 40 m processat amb Dronedeploy



Vol a 60 m processat amb Dronedeploy



Vol a 80 m processat amb Dronedeploy



Erros observats a les ortofotos

- Línia elèctrica (imatge 4.1): L'àrea d'estudi està travessada per una línia elèctrica de baixa tensió. A totes les ortofotos generades s'observa com en determinats punts de la imatge la línia elèctrica presenta discontinuïtats (quadre vermell de la imatge 4.1). La discontinuïtat no és sempre en el mateix punt, no compleix cap patró que indiqui que hi pugui haver una solució perquè això no passi. Simplement en ser un element tan prim i lineal dins d'una ortofoto feta per un conjunt de tantes imatges és pràcticament impossible que no es generi un error d'aquest tipus.

Imatge 4.1: Detall del error que es genera amb la línia elèctrica que traspasa l'àrea d'estudi



Font: elaboració pròpia

- Error en la georeferenciació per part dels programes de post vol: Per representar aquest error s'ha creat un polígon de 170m², situat de manera fixa i que engloba totes les posicions en què es troba el cotxe a cada ortofoto (imatge 4.2). Així es pot veure com va variant la posició geogràfica del cotxe en cada ortofoto. L'error és extrapolable a tota l'ortofoto, no només a la posició del cotxe.

Les ortofotos que presenten més error són la 1A i la 1B, on el cotxe està més desplaçat que a les altres. Les ortofotos 2A, 2B, 3A i 3B presenten error, però aquest és molt menor que en el primer cas. L'error més gran coincideix amb les dues ortofotos que tenen més resolució. Per reduir l'error s'haurien d'haver utilitzat punts de control (explicat al punt 2.2.3 del TFG). Així els programes de post vol farien millor la georeferenciació de les imatges.

Imatge 4.2: Error en la georeferenciació per part dels programes de post vol



Discussió global dels resultats

Vistos els diferents resultats dels processos de pre i post vol ara ja es pot tenir una visió general de quina és la millor manera d'obtenir una ortofoto mitjançant un UAV. En primer lloc cal remarcar que per decidir quin procés de pre i post vol és millor fer, sempre vindrà determinat per l'objectiu final a què va destinada l'ortofoto.

En el camp professional i acadèmic normalment existeixen dos motius principals pel que hom tria utilitzar un UAV per obtenir ortofotos: les imatges són de resolucions altes i es poden tenir fotografies d'un lloc determinat en un moment determinat quant nosaltres vulguem (aspectes que no ens proporciona un satèl·lit).

L'àrea d'estudi també és un factor determinant a l'hora de fer el pla de vol, sobretot la grandària i l'orografia. Així com l'autonomia del temps del vol del UAV.

Com s'ha vist als resultats obtinguts en el procés de post vol, la resolució de les ortofotos que s'obtenen amb els programaris PIX4D i Dronedeploy pràcticament no canvien. Si que s'ha vist com canvien les resolucions en funció de quina altura de vol fem. Per tant:

- Si volem fer ortofotos amb resolucions altes sobre zones petites, es faran vols a una altura baixa i fent servir punts de control, perquè no es generi tant error en la georeferenciació de les imatges.
- Si volem fer ortofotos de territoris amb una superfície gran, es faran vols a una altura elevada, que permetran que a cada fotografia que es dispara amb el UAV hi tingui més superfície de territori, provocant que el recorregut i el temps de vol del UAV siguin menors. I que amb un temps "x" d'autonomia del UAV es pugui cartografiar una superfície de territori més gran.

5. Conclusions

Durant el treball s'ha volgut fer una aproximació teòrica i pràctica a la tecnologia dels UAV en el camp acadèmic de la geografia, amb la finalitat d'aprendre la metodologia dels processos de pre i post vol, per extreure ortofotos. Ara s'enumeren els aspectes més importants en forma de conclusions.

- De totes les tipologies de UAV existents els que els millors per extreure ortofotos són els multirotors i els d'ala fixa. S'utilitzarà uns o els altres en funció sobretot de la dimensió de l'àrea d'estudi. Els UAV d'ala fixa són especialment bons per cartografiar superfícies grans, però tenen l'inconvenient de què necessiten un espai gran per poder aterrar. A diferència els multirotors poden aterrar en llocs molt petits, però la seva autonomia de vol és molt menor i podria ser limitant si s'ha de cartografiar una àrea molt extensa.
- Per fer una ortofoto s'utilitzarà un sensor que agafi la longitud d'ona electromagnètica visible (RGB), com més resolució tingui el sensor més qualitat tindran les ortofotos.
- La metodologia de pre vol serveix per fer el pla de vol, la ruta que realitzarà el UAV mentre estigi volant. Per fer una ortofoto es farà un pla de vol amb forma de malla, amb l'angle de la càmera a 90º respecte al terreny, amb una superposició d'imatges del 80% i tenint en compte la relació altura-qualitat d'imatges-llargada del recorregut, en funció de quin sigui el nostre objectiu final. Si s'ha de cartografiar una zona gran amb una autonomia de temps de vol petita es faran vols a molta altura (60-120 m), si s'ha de cartografiar una zona petita i es volen obtenir ortofotos de molta qualitat farem un vol a una altura baixa (20-60 m).
- Per passar d'un conjunt d'imatges aèries a una ortofoto, s'utilitzarà un programari de post-vol. En aquest treball s'han fet servir dos programaris i no s'ha vist pràcticament diferències entre ells. Per fer l'ortofoto amb el programari Dronedeploy es farà servir el mòdul *Terrain*, per fer-ho amb el Pix4D es farà servir el mòdul *3D Maps*.
- Per millorar els resultats extrets es proposa d'utilitzar punts de control de coordenades. Per així intentar reduir l'error de georeferenciació de l'ortofoto.

6. Bibliografía

Libres i articles:

- BARRIENTOS, A., DEL CERRO, J., GUTIÉRREZ, P., SAN MARTÍN, R., MARTÍNEZ, A., ROSSI, C. (2009). *VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS PARA USO CIVIL. TECNOLOGÍA Y APLICACIONES. GRUPO DE ROBÓTICA Y CIBERNÉTICA*, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 1–29. EXTRET DE: [HTTP://WEBDIIS.UNIZAR.ES/~NEIRA/DOCS/ABARRIENTOSCEDI2007.PDF](http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/abarrientoscedi2007.pdf)[HTTP://WEBDIIS.UNIZAR.ES/~NEIRA/DOCS/ABARRIENTOS-CEDI2007.PDF](http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/abarrientos-cedi2007.pdf)
- CAMPOS, Ó. D. (2010). *DRONES Y SU APLICACIÓN EN MATERIA DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO*: UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ, 3202–3202.
- CHUVIECO SALINERO, E. (1996). *FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN ESPACIAL*. MADRID: EDICIONES RIALP.
- MINISTERIO D'EDUCACIÓN CULTURA Y DEPORTE. (2014). *BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO*. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO MIÉRCOLES 30 DE JULIO DE 2014 SEC., 60502–60511.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (2000). *INTRODUCCIÓN A LA FOTOINTERPRETACIÓN*. BARCELONA: EDITORIAL ARIEL.
- FRA PALEO, U. (2011). *DICCIONARI TERMINOLÒGIC DE FOTOGRAMETRIA*. BARCELONA: TERMCAT.
- GARCÍA-CERVIGÓN, D., JOSÉ, J. (2015). *ESTUDIO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN A PARTIR DE IMÁGENES AÉREAS TOMADAS DESDE UAS / RPAS Y APLICACIONES DE ESTOS A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN*.
- GRAHAM, R., READ, R. E., MONTALBETTI, L. (1989). *MANUAL DE FOTOGRAFÍA AÉREA*. BARCELONA: OMEGA.
- LERMA GARCÍA, J. L. (2002). *FOTOGRAMETRÍA MODERNA : ANALÍTICA Y DIGITAL*. VALENCIA: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, SERVICIO DE PUBLICACION.
- OTERO, I., EZQUERRA, A., RODRÍGUEZ SOLANO, R., MARTÍN, L., BACHILLER, I. (2008). *FOTOGRAMETRÍA*, 1–134. EXTRET DE: [HTTP://OCW.UPM.ES/INGENIERIA-CARTOGRAFICA-GEODESICA-Y-FOTOGRAMETRIA/TOPOGRAFIA-CARTOGRAFIA-Y-GEODESIA/CONTENIDOS/TEMA_11_FOTOGRAMETRIA_Y_TELEDETECCION/FOTOGRAMETRIA/FOTOGRAFIA_Y_TELEDETECCION/FOTOGRAMETRIA_CAP_LIBRO.PDF](http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/tema_11_fotogrametria_y_teledeccion/fotogrametria/fotogrametria_cap_libro.pdf)
- UNIVERSIDAD DE MURCIA. (2003). *TEMA 3 : PLATAFORMAS, SENSORES Y CANALES*. APUNTES DE LA ASIGNATURA TELEDETECCIÓN EN GEOGRAFÍA, 29–50.
- VON BUEREN, S. K., BURKART, A., HUENI, A., RASCHER, U., TUOHY, M. P., YULE, I. J. (2015). *DEPLOYING FOUR OPTICAL UAV-BASED SENSORS OVER GRASSLAND: CHALLENGES AND LIMITATIONS*. *BIOGEOSCIENCES*, 12(1), 163–175. EXTRET DE: [HTTPS://DOI.ORG/10.5194/BG-12-163-2015](https://doi.org/10.5194/bg-12-163-2015)

Adreces d'Internet:

- CARTESIA.ORG. (2006). *INTRODUCCIÓN A LA FOTOGRAFÍA*. EXTRET DE: [HTTP://WWW.CARTESIA.ORG/DATA/APUNTES/FOTOGRAFIA/INTRODUCCION_A_LA_FOTOGRAFIA.PDF](http://www.cartesia.org/data/apuntes/fotogrametria/introduccion_a_la_fotogrametria.pdf)
- CATALONIA.ORG. (2003). *FOTOGRAFÍA AÉREA*. TRAZADO DE MAPAS A PARTIR DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS. EXTRET DE: [HTTP://WWW.CATALONIA.ORG/CARTOGRAFIA/CLASE_07/FOTOGRAFIA/FOTOGRAFIA_INDEX.HTML](http://www.catalonia.org/cartografia/clase_07/fotogrametria/fotogrametria_index.html)
- CATUAV. (2014). *CARACTERÍSTICAS DE LAS ORTOFOTOS*. EXTRET DE: [HTTP://WWW.CATUAV.COM/CA/ORTOFOTOS](http://www.catuav.com/ca/ortofotos)
- CENTRE DE TERMINOLOGIA DE CATALUNYA. (2015). *DRON, DRONE I UAV*. EXTRET DE: [HTTP://WWW.TERMCAT.CAT/CA/CERCATERM/](http://www.termcat.cat/ca/cercaterm/)
- DJI. (2017). *PHANTOM 3 STANDAR*. EXTRET DE: [HTTPS://WWW.DJI.COM/ES/PHANTOM-3-STANDARD](https://www.dji.com/es/phantom-3-standard)
- ERLEROBOTICS. (S.D.). *LIPO BATTERIES*. EXTRET DE: [HTTPS://ERLEROBOTICS.GITBOOKS.IO/ERLE-ROBOTICS-ERLE-COPTER/ES/SAFETY/LIPO.HTML](https://erlerobotics.gitbooks.io/erle-robotics-erle-copter/es/safety/lipo.html)
- FROMENT, I. (2008). *FOTOGRAFÍAS AEREAS*. EXTRET DE: [HTTP://WWW.KUMBAYA.NAME/CI2412/GPS/MAPAS/4-2-FOTOGRAFIAS-AEREAS.PDF](http://www.kumbaya.name/ci2412/gps/mapas/4-2-fotografias-aereas.pdf)
- GITHUB. (S.D.). *OPENDRONEMAP*. EXTRET DE: [HTTPS://GITHUB.COM/OPENDRONEMAP/OPENDRONEMAP](https://github.com/OpenDroneMap/OpenDroneMap)
- IDEYARED, EL BLOC DE. (S.D.). *SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y DRONES*. EXTRET DE: [HTTP://WWW.IDEYARED.ES/BLOG/2016/04/25/SISTEMAS-DE-INFORMACION-GEOGRAFICA-Y-DRONES/](http://www.ideyared.es/blog/2016/04/25/sistemas-de-informacion-geografica-y-drones/)
- IFOTON. (2008). *LA PRIMERA FOTOGRAFÍA AÉREA*. EXTRET DE: [HTTPS://IFOTON.COM/LA-PRIMERA-FOTOGRAFIA-AEREA](https://ifoton.com/la-primera-fotografia-aerea)
- PIX4D. (2017). *QUALITY REPORT SPECIFICATIONS*. EXTRET DE: [HTTPS://SUPPORT.PIX4D.COM/HC/EN-US/ARTICLES/202558679#GSC.TAB=0](https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558679#gsc.tab=0)
- REPSOL. (2014). *FUENTES DE ALIMENTACIÓN DRONES*. EXTRET DE: [HTTPS://WWW.REPSOL.COM/ES_ES/ENERGIA-INTELIGENTE/INFORMATE/DRONES-AVIONES-Y-ENERGIA-SOLAR.ASPX](https://www.repsol.com/es_es/energia-inteligente/informate/drones-aviones-y-energia-solar.aspx)
- DRONESPAIN. (2014). *TIPOS DE DRONES AERIOS*. EXTRET DE: [HTTP://DRONESPAIN.PRO/TIPOS-DE-DRONES-AERIOS](http://dronespain.pro/tipos-de-drones-aereos)

