

## Aplicacions de Dades Copernicus per analitzar canvis en les cobertes del sòl

Treball de Final de Màster

Màster en Geoinformació 2017/18

DARES

●●● màster en  
geoinformació

ICGC  
Institut  
Cartogràfic i Geològic  
de Catalunya

UAB  
Universitat Autònoma  
de Barcelona

PERE RIFÀ BADIA

pererifabadia@gmail.com

Tutor acadèmic: Juan Fernando Marchán

Tutor de pràctiques: Pol Fornés

### **Agraïments**

A l'equip de Dares Technology per donar-me la oportunitat de col·laborar amb ells, plantejar-me la idea del treball i resoldre els dubtes que em sorgien.

Als coordinadors del Màster en Geoinformació, per l'organització i posar-me en contacte amb l'empresa.

Al meu tutor acadèmic, Juan Fernando Marchán, per fer el seguiment del treball i resoldre els dubtes plantejats.

## Resum

Aquest treball estudia dos casos d'ús de dades Copernicus per a fer una anàlisi dels canvis de les cobertes del sòl amb diverses metodologies d'anàlisi, en el cas del control de la mineria i el de l'evolució de les inundacions.

S'ha realitzat un estudi del canvi de les cobertes del sòl, des de 2016 fins al 2018, d'una mina il·legal a Colòmbia; on es donarà a conèixer la desforestació generada i es presentarà al Govern de Colòmbia.

D'altra banda, pel que fa al seguiment de les inundacions de la crescuda del riu Ebre, de l'abril de 2018, s'ha fet una comparativa de diverses metodologies de detecció de l'aigua superficial per conèixer els diferents avantatges i desavantatges de cadascuna d'elles i determinar quina resulta més eficient.

**Paraules clau:** Programa Copernicus, Sentinel, Cobertes del sòl, Inundacions, Minería, NDWI, SAR.

## Resumen

Este trabajo estudia dos casos de uso de datos Copernicus para el análisis de los cambios de cubiertas del suelo en distintas metodologías de análisis, el caso de la minería i en la evolución de las inundaciones.

Se ha realizado un estudio del cambio de cubiertas del suelo, des de 2016 hasta 2018, de una mina ilegal de Colombia; donde se dará a conocer la desforestación generada i se presentará al Gobierno de Colombia.

Por otro lado, se hará un seguimiento de las inundaciones de la crecida del Ebro de abril de 2018, donde se ha realizado una comparativa de metodologías de detección del agua superficial para conocer las ventajas y contras de cada una para determinar la más eficiente.

**Palabras clave:** Programa Copernicus, Sentinel, Cubiertas del suelo, Inundaciones, Minería, NDWI, SAR.

## Abstract

In this paper, two examples of applications from the Copernicus Program will be shown for the analysis of soil cover changes in different analysis methodologies; the case of mining and the evolution of floods.

A study of the change in land cover, from 2016 to 2018, of an illegal mine of Colombia; where the deforestation generated will be announced and will be presented to the Colombian Government.

On the other hand, the flooding of the Ebro river flood in April 2018, where a comparison of surface water detection methodologies has been carried out to know the advantages and cons of each one, to determine the most efficient.

**Key words:** Copernicus Program, Sentinel, Land cover, Floods, Mining, NDWI, SAR.

## Índex

0.	Introducció .....	4
1.	Objectius .....	5
2.	Context teòric.....	5
2.1.	Introducció a la teledetecció.....	5
2.2.	Programa Copernicus.....	6
2.2.1.	Sentinel 1.....	7
2.2.2.	Sentinel 2.....	7
2.3.	Índexs multispectrals de detecció d'aigua superficial.....	8
2.3.1.	Índex de diferència d'aigua normalitzat (NDWI).....	8
2.3.2.	Índex de diferència d'aigua normalitzat modificat (MNDWI).....	8
2.3.3.	Índex d'aigua (ICEDEX) .....	9
2.4.	Radar d'obertura sintètica .....	9
3.	Aplicacions pràctiques de Sentinel 1 i 2.....	11
3.1.	Mineria il·legal a Colòmbia.....	12
3.1.1.	Context .....	12
3.1.2.	Metodologia .....	12
3.1.3.	Resultats.....	17
3.2.	Crescuda del riu Ebre (Abril 2018) .....	19
3.2.1.	Context .....	20
3.2.2.	Metodologia .....	21
3.2.3.	Resultats.....	27
4.	Conclusions .....	32
5.	Annex.....	33
5.1.	Informe de la mineria de Colòmbia.....	33
5.2.	Informe de les crescudes de l'Ebre .....	37
6.	Índexs d'il·lustracions.....	41
6.1.	Índex de figures.....	41
6.2.	Índex de taules .....	42
7.	Fonts d'informació .....	42

## 0. Introducció

A la Terra es produeixen canvis en les cobertes del sòl constantment, tant per causes antròpiques com de naturals. El control freqüent d'aquests canvis es pot realitzar a partir de la teledetecció, una ciència que ha evolucionat molt durant els darrers anys permetent l'obtenció d'una gran quantitat de dades i amb molta resolució. Aquest és el cas del Programa Copernicus, el qual permet analitzar l'evolució de les cobertes del sòl de tot el planeta i poder realitzar estudis mediambientals i protegir la societat de diversos riscos que es generen.

En aquest treball ens plantejem analitzar les aplicacions pràctiques que es poden dur a terme amb el Programa Copernicus, concretament les que tenen relació amb el canvi de les cobertes del sòl. Aquestes tasques s'han dut a terme a l'empresa Dares Technology, des d'on han proposat l'anàlisi d'una mina il·legal del *Departamento de Córdoba* (Colòmbia) i la crescuda del riu Ebre, a un tram d'Aragó, durant el mes d'abril del 2018.

En el projecte de la mineria de Colòmbia s'ha tractat l'evolució de les cobertes del sòl entre els anys 2016 i 2018, analitzant la desforestació i el moviment de terres que es podien visualitzar de forma manual, i s'ha combinat amb un mapa de reflectància per a fer l'anàlisi, tant amb els sensors passius com actius, i veure si coincideixen.

Per altra banda, en el projecte de les inundacions del riu Ebre s'ha volgut analitzar l'impacte de la crescuda del riu sobre les diferents cobertes del sòl, i realitzar una comparativa de les metodologies de detecció de l'aigua superficial, com són la digitalització manual, la combinació de bandes a partir d'índexs multiespectrals i el radar d'obertura sintètica, és a dir, un sensor actiu.

Aquest projecte s'ha realitzat a Dares Technology, els quals han proposat els temes i han donat el suport per a fer la recerca. Dares Technology és una empresa especialitzada en la mesura de les deformacions del sòl utilitzant la tecnologia InSAR amb una alta qualitat. Els objectius de les prestacions dels seus serveis són la reducció dels costos operacionals i contribuir en la prevenció de riscos a partir de la subsidència del territori. Concretament, s'han especialitzat en la mineria, l'extracció de combustibles fòssils i la construcció d'infraestructures. On els poden proporcionar deformacions mil·limètriques amb una freqüència que va dels 6 als 12 dies, a partir del satèl·lit Sentinel 1. D'aquesta manera, es poden preveure enderrocaments de les mines, infraestructures, etc., gràcies a un seguiment de l'àrea en qüestió i del desplaçament del sòl que es produeix al llarg de l'anàlisi. Per altra banda, també fan seguiments de cobertes del sòl amb metodologies SAR, com la que farem a la segona part d'aquest projecte, les inundacions del riu Ebre.

## 1. Objectius

El principal objectiu d'aquest projecte final de màster és conèixer les diverses aplicacions que poden tenir les imatges satèl·lit del programa Copernicus, concretament les aplicacions per analitzar les variacions en les cobertes del sòl.

De forma més específica, es plantegen els següents objectius:

- Detecció de canvis en superfície amb imatges òptiques i multiespectrals d'una mina il·legal del Departamento de Córdoba (Colòmbia) durant els darrers 3 anys.
- Analitzar la crescuda del riu Ebre del tram entre Novillas i Pina de Ebro (Aragó) durant el mes d'abril de 2018, amb diverses tècniques de teledetecció i fer una comparativa per veure quina és la més eficient.
- Elaboració d'informes per a la presentació dels productes als clients, elaborats a l'empresa Dares Technology.

## 2. Context teòric

### 2.1. Introducció a la teledetecció

La teledetecció o percepció remota, és el *“conjunt de tècniques que permeten obtenir informacions sobre la naturalesa i les propietats dels objectes sense contacte físic amb ells, a distància, mitjançant la captació i mesura de les ones electromagnètiques que emeten o reflecteixen els objectes, tant dins del camp del visible com en les bandes amb longituds d'ona més curtes o més llargues.”* (Rabella et al., 2011).

Consisteix en adquirir la informació mitjançant els sensors, que mesuren i registren l'energia electromagnètica, i el posterior processament de les dades, per obtenir la informació desitjada.

Aquesta informació s'obté a partir de sensors que detecten l'energia que és reflectida des de la Terra d'una forma passiva o activa. Els sensors passius (sensors fotogràfics, optico-elèctrics, espectres d'imatge i d'antena), són aquells que responen a estímuls externs (no proveeixen la seva pròpia il·luminació), com és el reflex de l'energia solar. En canvi, els sensors actius (tecnologies radar i lidar) generen estímuls per a captar la informació que necessiten.

Cada sensor genera dades de diverses resolucions segons les necessitats que volen satisfer. Per començar hi ha la resolució espacial, que indica la mesura més petita que pot captar el sensor, és a dir, les dimensions del píxel. La resolució espectral, és la forma en que es capta la radiació electromagnètica, és a dir, el nombre i amplada de les bandes que reconeix el sensor. La resolució temporal és la freqüència en que s'obtenen dades d'una mateixa localització, és a dir, la periodicitat en que s'obtenen les imatges. Per acabar la resolució radiomètrica ens indica la sensibilitat per a detectar les diferències de la força del senyal. Com major sigui la resolució de cadascuna d'aquestes, més aplicacions se li poden donar al satèl·lit i més precisió ens proporciona.

## 2.2. Programa Copernicus

Copernicus és el programa d'observació de la Terra de l'Agència Espacial Europea (ESA) amb l'objectiu de proveir una informació lliure, precisa i amb freqüència, per a millorar la gestió del medi ambient, combatre el canvi climàtic i garantir la seguretat civil.

Actualment, l'agència està desenvolupant un grup de satèl·lits anomenats Sentinel, dels quals ja hi ha tres constel·lacions en òrbita, Sentinel 1, 2, 3 i 5-P.

A continuació, es pot observar una taula resum dels satèl·lits Sentinel, amb les principals característiques i objectius de les missions.

*Taula 1. Característiques dels satèl·lits Sentinel del Programa Copernicus*

Plataforma	Instrument	Tipus	Comentaris
<b>Sentinel-1</b>	Radar d'obertura sintètica (SAR)	Actiu	Operatiu des del 3 d'abril de 2014. Realitza imatges de radar, que els permeten adquirir imatges independentment del clima i estudis sobre la superfície terrestre i marina.
<b>Sentinel-2</b>	Instrument multiespectral (MSI)	Passiu	Operatiu des del 23 de juny de 2015. Missió multiespectral dissenyada per a monitoritzar la superfície terrestre, estudiant les cobertes del sòl i aigua, les lleres navegables i serveis d'emergències.
<b>Sentinel-3</b>	Instrument de color terrestre i marí / Radiòmetre de temperatura superficial del mar i la terra / SAR / Radiòmetre de microones / Delimitació d'òrbita precisa	Sensors actius i passius	Operatiu des del 16 de febrer de 2016. Missió dissenyada per estudiar el canvi del nivell del mar i la temperatura de la superfície marina, gestionar la qualitat de l'aigua, l'extensió dels glaciers i el canvi de cobertes del sòl i vigilància de la vegetació. Per altra banda, el monitoratge dels recursos hídrics, aplicacions atmosfèriques, etc.
<b>Sentinel-4</b>	UVN	Passiu	Instrument embarcat a MetOp que vol monitoritzar l'atmosfera des d'una òrbita polar. Té com a objectius analitzar la qualitat de l'aire, monitoritzar l'ozó i mesurar les radiacions solars.
<b>Sentinel-5</b>	Espectre infraroig ultraviolat visible / TROPOMI	Passiu	Missió centrada en el seguiment de les concentracions de gasos i els aerosols de l'atmosfera per recolzar als serveis operatius que cobreixen aplicacions de temps real de la qualitat de l'aire i control del clima.
<b>Sentinel-6</b>	TBD	Passiu	Missió de recopilar mesures de superfícies oceàniques entre 2020 i 2030. Els objectius de la missió inclouen la mesura de la topografia oceànica i permeten la predicció numèrica de l'oceà tridimensional combinant-ho amb la meteorologia marina.

Font: ESA i EARTHDATA

D'altra banda, s'han volgut destacar les característiques dels satèl·lits Sentinel 1 i 2, perquè són els que se n'ha extret la seva informació per aquest projecte.

### 2.2.1. Sentinel 1

Sentinel 1, va començar a ser operatiu al 3 d'abril de 2014. És un instrument radar d'obertura sintètica amb la capacitat d'escanejar tota la Terra en només 6 dies, tant de dia com de nit. Realitza imatges de radar, amb la capacitat d'adquirir dades independentment del clima i la il·luminació. Les dades obtingudes són utilitzades per fer un seguiment de l'extensió de gel al àrtic, gestió de l'aigua i sòls, detecció de vaixells, elaboració de cartografia per a ajuda humanitària, etc.

Figura 1. Sentinel 1



### 2.2.2. Sentinel 2

En aquest projecte he treballat amb imatges de Sentinel 2, dos satèl·lits amb la missió de proveir informació global i sistemàtica d'imatges multiespectrals d'alta resolució, amb una elevada freqüència des del 23 de juny de 2015.

Aquesta constel·lació té una resolució temporal de 5 dies, és a dir, que la freqüència de pas del satèl·lit per un mateix punt de la superfície terrestre és molt curta. Fet que permet tenir la informació del territori molt actualitzada i realitzar estudis territorials que succeeixen en curts períodes de temps. Com és el cas de la crescuda d'un curs fluvial per un període de pluges.

Va ser creat per poder elaborar mapes on detectar canvis d'usos del sòl, analitzar la contaminació de les aigües, estudiar les inundacions, les erupcions volcàniques, etc.

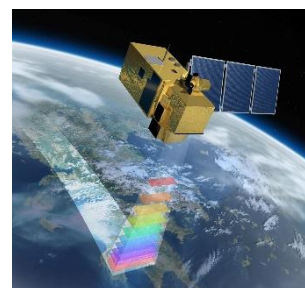
El Sentinel 2 té un sensor multiespectral d'alta resolució amb 13 bandes espectrals, amb un footprint de 290 km, on cada banda té una resolució espacial diferent, van des dels 10, 20 o 60 metres per píxel, com es pot veure a la taula següent.

Taula 2. Bandes espectrals de Sentinel-2

Bandes de Sentinel-2	Longitud d'ona ( $\mu\text{m}$ )	Resolució (m)
1 – Detecció d'aerosols	0.443	60
2 – Blau	0.490	10
3 – Verd	0.560	10
4 – Vermell	0.665	10
5 – Classificació de Vegetació	0.705	20
6 – Classificació de Vegetació	0.740	20
7 – Classificació de Vegetació	0.783	20
8 – Infraroig proper	0.842	10
8A – Classificació de Vegetació	0.865	20
9 – Vapor d'aigua	0.945	60
10 – SWIR - Cirrus	1.375	60
11 – SWIR	1.610	20
12 – SWIR	2.190	20

Font: ESA

Figura 2. Sentinel 2





### 2.3. Índexs multiespectrals de detecció d'aigua superficial

La monitorització de cossos d'aigua juga un paper molt important en la teledetecció, ja que gran part de la superfície de la Terra es troba coberta d'aigua. El fet de poder-la monitoritzar ha estat un problema de les darreres dècades, ja que és difícil distingir-la d'altres superfícies amb un baix albedo. Tot i això, en els darrers anys, s'han elaborat diversos índexs espectrals capaços de detectar l'aigua gràcies a les seves característiques. *“El agua presenta una baja reflectividad, especialmente en las bandas del infrarrojo cercano y medio (bandas 4, 5 y 7 de los sensores TM y ETM+).”* (Bustamante, et al, 2005). Aquest fet fa que existeixin diferents mètodes per identificar les zones inundades en un territori basant-se en la baixa reflectivitat dels infrarojos.

Tot i això, segons Kaplan i Avdan, no acaben de ser del tot precisos *“a number of pixel-based indexes have been developed for water body extraction from satellite images, but most of them do not have the required accuracy and produce a number of errors, mostly caused by shadows and built-up areas”* (Kaplan i Avdan, 2016). En aquest projecte, es volen analitzar aquests índexs i comparar-los amb altres metodologies de detecció d'aigua per conèixer realment la seva eficiència.

A continuació es presenten els tres índexs treballats, que són l'índex de diferència d'aigua normalitzat, l'índex de diferència d'aigua normalitzat modificat i l'índex d'aigua. On els valors de NDWI i MDWI *“representan información de regiones del espectro diferente (500 nm – 800 nm), las cuales están más relacionadas con la absorción del agua en el contenido foliar. Estos índices maximizan la reflectancia del agua contra la absorción radiométrica de la vegetación y de suelo adyacente.”* (Ariza et al. 2013). A continuació es poden veure les seves característiques:

#### 2.3.1. Índex de diferència d'aigua normalitzat (NDWI)

L'índex d'aigua de la diferencia normalitzada és útil per discriminar les aigües superficials que es troben en un terreny. Tot i que té dificultats de captar l'aigua amb grans quantitats de sediments i les superfícies amb ombres. En aquest índex queden involucrades les bandes 3 i 8, és a dir, el color verd i l'infraroig curt (NIR). A partir d'aquesta fórmula, es ressalten valors que van del -1 a 1, dels quals, tots els positius són considerats aigua superficial.

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

#### 2.3.2. Índex de diferència d'aigua normalitzat modificat (MNDWI)

L'índex MNDWI va ser creat per millorar la capacitat de separar territoris coberts d'aigua, substituint l'infraroig curt pel mitjà. En aquest cas, els valors superiors a 0 també són els que corresponen a les cobertes d'aigua.

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$$

### 2.3.3. Índex d'aigua (ICEDEX)

ICEDEX es un índex creat per 'Instituto Ambiental Español' per poder localitzar l'aigua continental. Es diferencia per presentar "valores más estables, siendo uno de los menos sensibles a la influencia de vegetación o a la presencia de material en suspensión (sedimentos, algas)." (Ariza et al. 2013). S'obté a partir de la relació de les bandes vermella, infraroig curt i infraroig mitjà. On tots els valors sobre 0 resultants són considerats com aigua.

$$ICEDEX = \left( \frac{NIR}{Red} \right) - \left( \frac{NIR}{MIR} \right)$$

### 2.4. Radar d'obertura sintètica

El radar d'obertura sintètica (SAR), és un sistema d'observació lateral que genera imatges de la superfície terrestre a partir d'algoritmes. Combina informació de diversos escombrats per generar una imatge a partir de la mesura del retard i la força de l'eco reflectit a l'antena del sensor. A partir d'aquest retard, es poden determinar quins objectes es troben a la superfície, és a dir, si es tracta de sòl nu, vegetació, aigua, sòl urbà, etc.

Són sistemes sofisticats d'imatges: "these Systems emit electromagnetic (EM) radiation at microwave frequencies (300 MHz to 300 GHz). As opposed to optical imaging systems, which measure the visible spectrum return of solar EM radiation in a particular scene." (Crockett, 2013). Des d'una perspectiva d'alt nivell, els sistemes SAR emeten microones en una banda i reben l'eco en una altra. A partir d'aquí, es troba la secció creuada radar "radar cross-section" (RCS), una mesura que indica la capacitat d'un blanc per a retornar la radiació que l'incideix. "High values of RCS show up as bright targets, whereas targets with low RCS are dim. Targets with rough surfaces tend to scatter EM radiation back towards the radar, so manmade targets like buildings, vehicles, and roads have a high RCS. Since the ground is relatively flat, it scatters EM radiation away from the radar and its RCS is low." (Crockett, 2013).

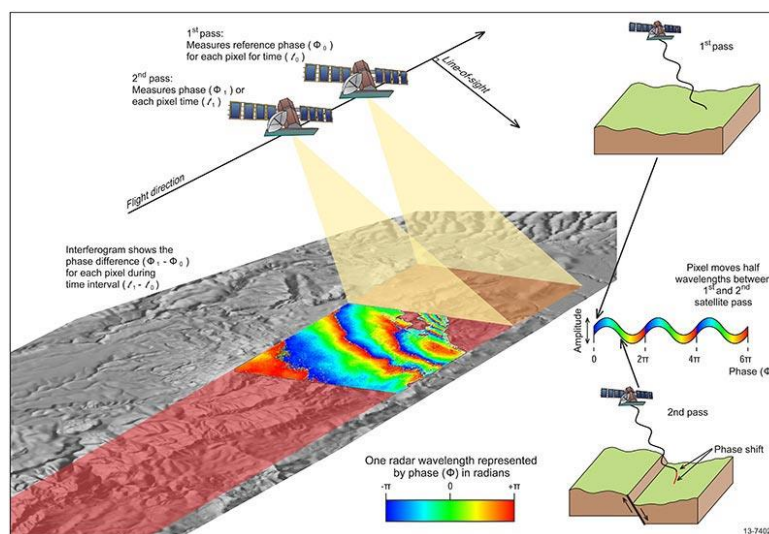


Figura 3. Esquema del funcionament dels satèl·lits SAR

Com es pot observar a la figura 3, a partir de dues passades del satèl·lit, es poden determinar si hi ha hagut deformacions en un territori a partir de l'amplitud dels dos escombratges.

Actualment hi ha diverses missions que realitzen escombratges en SAR. A la següent taula es poden veure representats els principals satèl·lits i les seves característiques.

*Taula 3. Característiques dels satèl·lits radar*

Satèl·lit	Organització	Banda (longitud d'ona)	Freqüència (dies)	Resolució (m)		Mida de la imatge
				Est-oest	Nord-sud	
<b>Sentinel-1 A/B</b>	ESA (Europa)	C (5,6 cm)	6-12	3	15	300 x 300 km
<b>Radarsat 2</b>	MDA (Canadà)	C (5,6 cm)	24	3	3	40 x 40 km
<b>TerraSAR-X</b>	DLR - Infoterra (Alemanya)	X (3,1 cm)	11	3	3	30 x 30 km
<b>COSMO-SkyMed</b>	ASI (Itàlia)	X (3,1 cm)	1-16	3	3	30 x 30 km
<b>ALOS 1 i 2</b>	JAXA (Japó)	L (22.9)	14	3	100	35 x 70 km

D'aquesta taula es pot destacar el satèl·lit ALOS; el qual es caracteritza per treballar en banda L de freqüències de microones, fet que li permet travessar la vegetació i poder analitzar el sòl i les seves deformacions tot i que tinguin una cobertura vegetal. Tot i això, en aquest projecte, ens centrarem en Sentinel 1 per extreure la informació sobre la reflectància del sòl i les superfícies inundades, ja que ALOS no és de lliure accés com les dades del Programa Copernicus.

El sistema radar té els avantatges de no dependre de les condicions climàtiques i de la il·luminació del sol per poder tenir imatges de qualitat; té la capacitat de penetrar la vegetació i la neu, i adaptar-se a diverses característiques físiques i geomètriques del territori, com és la distància radial, la humitat, rugositat, el vent, etc.

Aquest sistema pren dues mesures, l'amplitud de la qual obté la longitud de la fletxa de recepció, i la fase que mesura la posició angular de la fletxa de recepció.

El sistema radar d'obertura sintètica té moles aplicacions, com és el monitoreig de zones de risc d'inundacions, la detecció de canvis en la superfície terrestre a partir de diverses imatges i algoritmes, l'elaboració de models digitals d'elevacions, la monitorització del gel als pols, calcular la velocitat del vent, la detecció dels vaixells, etc.

### 3. Aplicacions pràctiques de Sentinel 1 i 2

Com s'ha comentat en els apartats anteriors, la teledetecció té moltes aplicacions per analitzar la Terra en diversos aspectes. A continuació es presenten el conjunt d'aplicacions que poden prestar les òrbites de Sentinel 1 i 2, i els dos casos concrets que s'han realitzat en aquest projecte.

#### Aplicacions de Sentinel 1

- Monitorització del gel, l'aigua o petroli de forma automàtica per veure si està en expansió o reducció i realitzar estudis mediambientals.
- Monitorització de la superfície terrestre amb la detecció del tipus de superfície, la quantitat de biomassa que té, millorar l'eficiència de l'agricultura, etc.
- Estudis de subsidència del sòl per evitar danys estructurals d'edificis, túnels, incrementar la seguretat en la mineria, etc.
- Seguiment de vaixells gràcies a la capacitat del SAR a detectar els canvis de textura als oceans.
- Seguiment dels camps de vent per a realitzar estudis sobre els oceans i els seus corrents marins.

#### Aplicacions de Sentinel 2

- Canvis de cobertes del sòl: estudis sobre els impactes del canvi climàtic, desforestació, inundacions, noves cobertes artificials, etc.
- Aigua: les 13 bandes espectrals poden donar informació sobre la qualitat de l'aigua, analitzant la seva transparència i quantitat d'algues.
- Vegetació: pot analitzar el creixement de la vegetació, nivells de concentració d'aigua, de clorofil·la, etc.
- Desastres: detecció de territoris adequats per instal·lar camps de refugiats, predicció de malalties, etc.

En aquest cas pràctic ens centrarem amb les aplicacions dels canvis de les cobertes del sòl.

Ens referim a cobertes del sòl com a les característiques de la superfície de la Terra, és a dir, superfícies amb vegetació, aigua, sòl nu, sòl urbanitzat, etc.

Actualment, gràcies a la millor resolució espacial de les imatges satèl·lit i les millores en les aplicacions de sistemes d'informació geogràfica i teledetecció, es poden analitzar els canvis en les cobertes del sòl en menys temps, menor cost i major precisió a partir de la monitorització del procediment. Per fer-ho existeixen diversos algorismes que realitzen el procediment d'una forma força ràpida i precisa. Tot i això, en aquest projecte, no s'ha treballat cap d'aquestes tècniques, ja que l'àrea d'estudi era de poques dimensions i per altra banda, el fet de realitzar-ho de forma manual s'incrementa la precisió.

### 3.1. Minería il·legal a Colòmbia

Una part d'aquest projecte de pràctiques ha consistit en elaborar un informe especulatiu per a captar nous clients a Colòmbia. Concretament va dirigit al Govern colombià, ja que l'empresa Dares Technology té la previsió de reunir-s'hi per mostrar varies propostes.

En aquest cas, l'informe és sobre una mina il·legal seria un dels serveis que volen prestar. Per tant, com a inici s'ha realitzat una màscara de canvis de l'evolució de la mina, perquè coneguin la seva existència i decideixin si s'hi ha d'intervenir.

#### 3.1.1. Context

L'Àrea d'estudi es troba localitzada al Departamento de Córdoba (Colòmbia), al municipi de Ayapel. És una regió amb un clima intertropical, fet que provoca que hi hagi una cobertura de núvols permanent i dificulti l'obtenció d'imatges netes, de qualitat, per a poder analitzar l'evolució de les mines.

A continuació es veu representada la localització de l'àmbit d'estudi de la minería il·legal.



Figura 4. Localització de la minería il·legal de Colòmbia

#### 3.1.2. Metodologia

En aquest cas pràctic, s'han realitzat dues màscares de canvis per analitzar l'evolució de la mina dels darrers tres anys, i s'han combinat amb un mapa de reflectància per veure si coincideixen les zones desforestades amb les que emeten més reflectància. Per realitzar aquesta part del projecte, s'han utilitzat imatges de Sentinel 1 i 2 i tractades amb el programa Qgis. A continuació es pot veure un esquema que resumeix el procediment i l'explicació dels diversos passos amb suport visual.

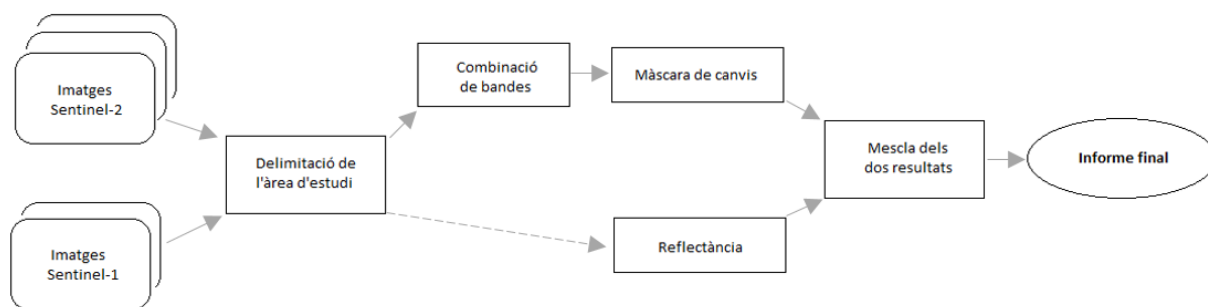


Figura 5. Esquema de la metodologia utilitzada en el cas de Colòmbia

- Descàrrega d'imatges satèl·lit

La realització del mapa de canvis de l'àrea d'estudi s'ha fet a partir d'imatges de Sentinel 2. Per tant, s'han descarregat imatges dels darrers anys per poder veure l'evolució de la mina i la desforestació que ha comportat. El fet de ser una zona amb un clima tropical amb moltes precipitacions ha dificultat l'obtenció d'imatges netes de núvols per realitzar la màscara de canvis.

De Sentinel 2, només s'han pogut obtenir dues imatges del 2016, tres del 2017 i dues més del 2018. D'aquestes, s'ha escollit la que tenia major visibilitat de cada any per realitzar les màscares de canvis amb més precisió.

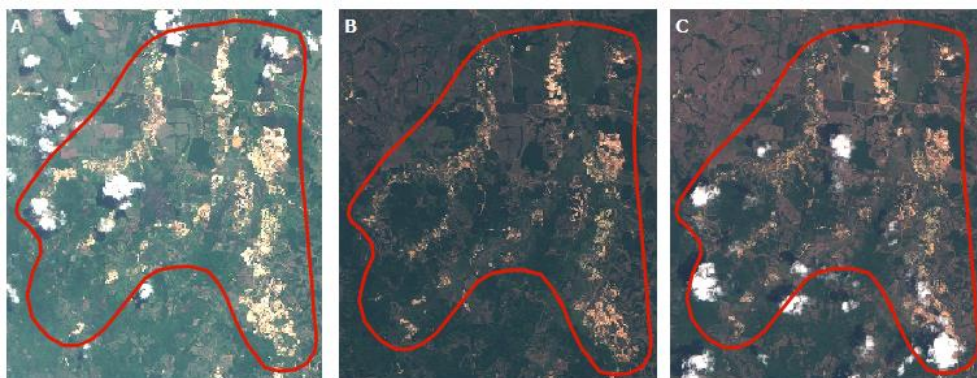


Figura 6. Imatges de l'àmbit d'estudi del (2016 A), 2017 (B) i 2018 (C)

L'objectiu inicial, era fer un anàlisi de l'evolució dels darrers deu anys, i per poder completar aquesta informació amb imatges d'anys anteriors al 2016, vaig fer una cerca de les dades de Landsat. Tot i això, la resolució de 30 metres per píxel dificultava molt l'observació de canvis, com es pot observar a la figura 7, i vam decidir-nos per centrar-nos en els canvis dels darrers 3 anys.



Figura 7. Imatge de Landsat 8 del 17 de juny de 2014

- Divisió de l'àmbit en zones

Per poder presentar el producte d'una forma més visual, s'han focalitzat quatre zones de l'àmbit per veure els canvis a una major escala, així els possibles clients colombians tinguin més clara la utilitat dels serveis que genera l'empresa. A la següent imatge es representa l'àrea d'estudi amb les quatre zones seleccionades per a presentar a l'informe de presentació.



Figura 8. Zones de l'àmbit d'estudi de la mineria il·legal

- Elaboració de les màscares de canvis

Un cop obtingudes les imatges de l'àrea d'estudi, s'ha realitzat una màscara de canvis que es poden detectar a simple vista sobre el terreny. Canvis com poden ser la desforestació o el moviment de terres. Descartant els canvis de nivells d'aigua, ja que no asseguren canvis

geomorfològics i segons es pot veure a les imatges descarregades, semblen acumulacions d'aigües provinents de precipitacions dels dies anteriors.

Per poder fer aquesta màscara de canvis, s'ha utilitzat la imatge RGB i un fals color que accentua les cobertes vegetals i les cobertes inundades, per evitar la confusió de digitalitzar fragments d'aigua.

S'ha realitzat de forma manual perquè es tracta d'una àrea relativament petita i, d'aquesta manera, es pot incrementar la precisió.

Per a fer aquestes combinacions de bandes, s'ha utilitzat l'eina '*Semi-Automatic Classification Plugin*', on es poden definir els jocs de bandes que t'interessen i elaborar capes virtuals o generar rasters. En aquest cas he combinat les bandes 11, 4 i 8, ja que diferencia les zones forestals (verd), els sòl nu (blanc) i l'aigua (blau) d'una forma clara.

A continuació, es presenta l'evolució dels canvis de dos punts ampliats de l'àmbit d'estudi amb les imatges en RGB i en fals color, on els polígons taronges són els canvis produïts entre 2016 i 2017, i els vermells de 2017 a 2018.

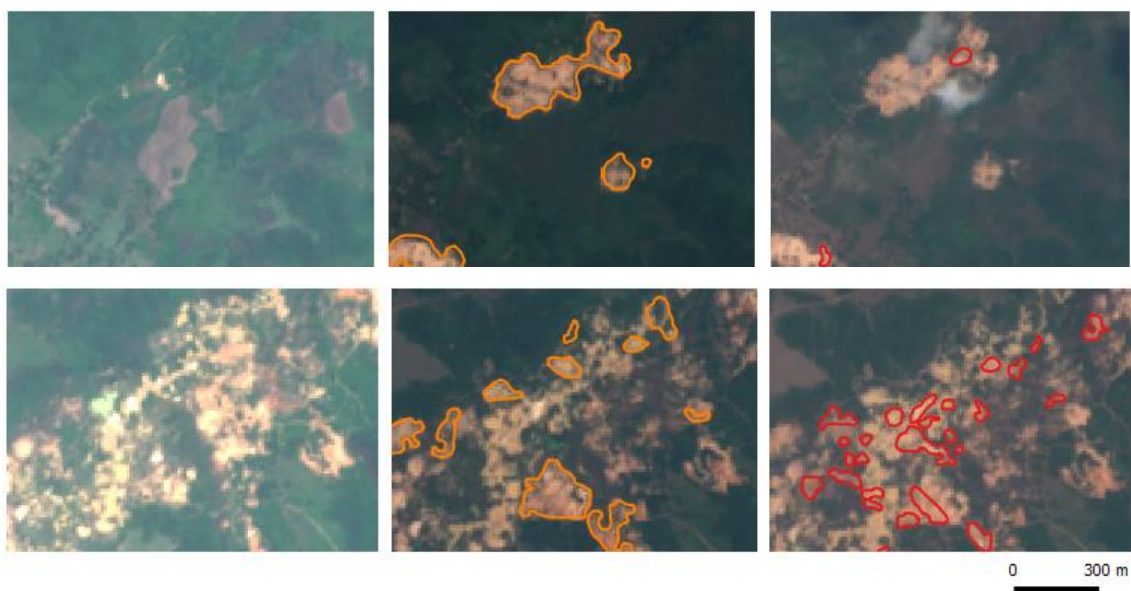


Figura 9. Imatges RGB amb les màscares de canvis



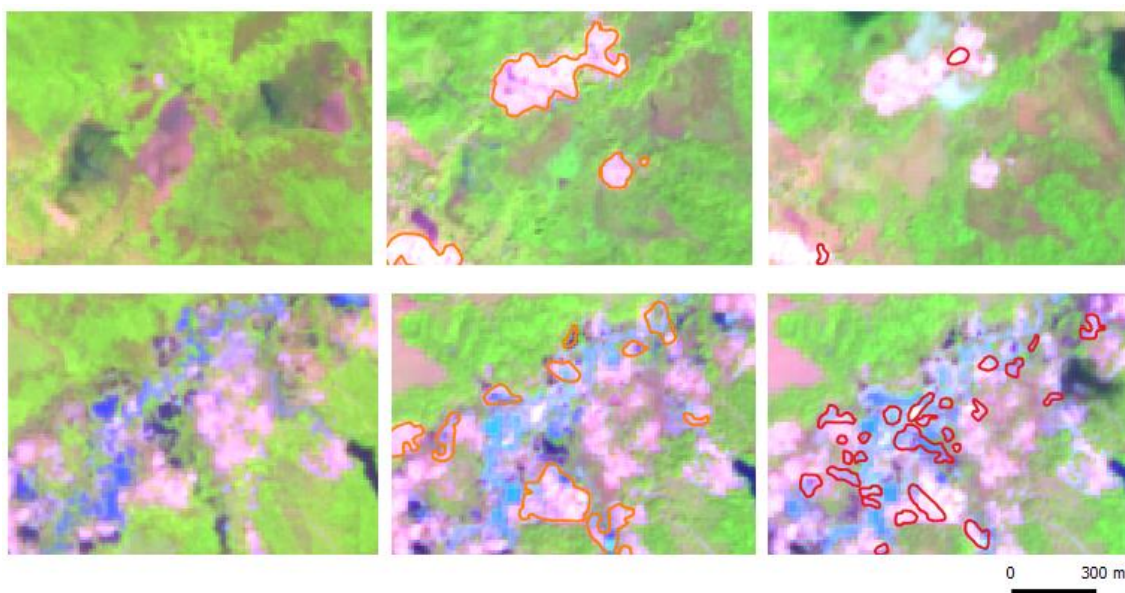


Figura 10. Imatges en fals color, bandes 11, 4 i 8, amb les màscares de canvis

- Mescla de la màscara de canvis amb la reflectància del terreny

Un cop generada la màscara de canvis, s'ha sobreposat en un mapa de reflectància del terreny, per poder observar si les zones desforestades que són les que emeten més reflectivitat, coincideixen amb les zones digitalitzades.

La capa elaborada en format (.dat) mostrava els valors de reflectància de 0 com a reflectància mínima a 1 com a valors màxims. Tot i això, per descartar zones que poden emetre soroll, s'ha canviat el rang de representació de 0.3 a 1, accentuant la visualització de les zones desforestades. A continuació, es pot observar el mapa de reflectància juntament amb la localització de l'àmbit d'estudi.

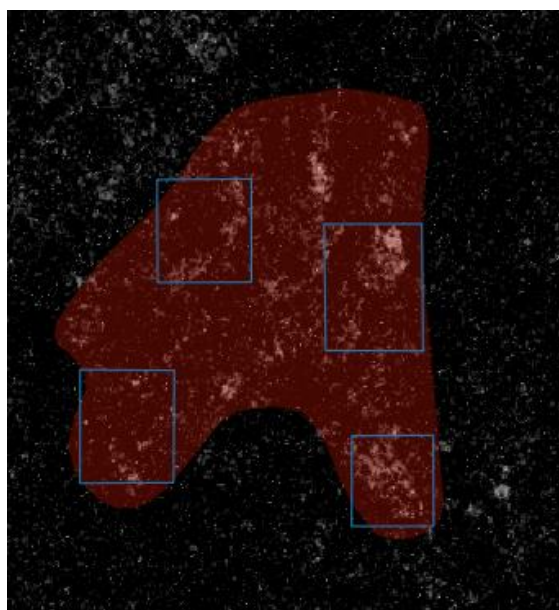


Figura 11. Mapa de reflectància de l'àmbit d'estudi

- Elaboració de l'informe

Pe acabar, s'ha realitzat un informe amb els resultats per captar nous clients a Colòmbia. Per fer-ho, s'ha presentat en format *Power Point*, d'una manera més atractiva i entenedora.

En aquesta presentació, s'ha realitzat una introducció per poder donar a conèixer l'empresa i els serveis que presta, la localització de l'àmbit d'estudi, la metodologia utilitzada i els resultats obtinguts.

### 3.1.3. Resultats

Durant els darrers tres anys, s'han produït alteracions a l'àrea estudiada del municipi d'Ayapel sense el coneixement del Govern de Colòmbia. Canvis com són la desforestació i posterior moviment de terres causat per accions de mineria il·legal.

Entre 2016 i 2017 hi va haver canvis en una superfície de 81,09 ha d'un total de 7839,98 ha, i entre 2017 i 2018 es van produir canvis a 59,41 ha.

A les següents imatges es poden observar els canvis produïts durant els darrers tres anys en les 4 zones analitzades.

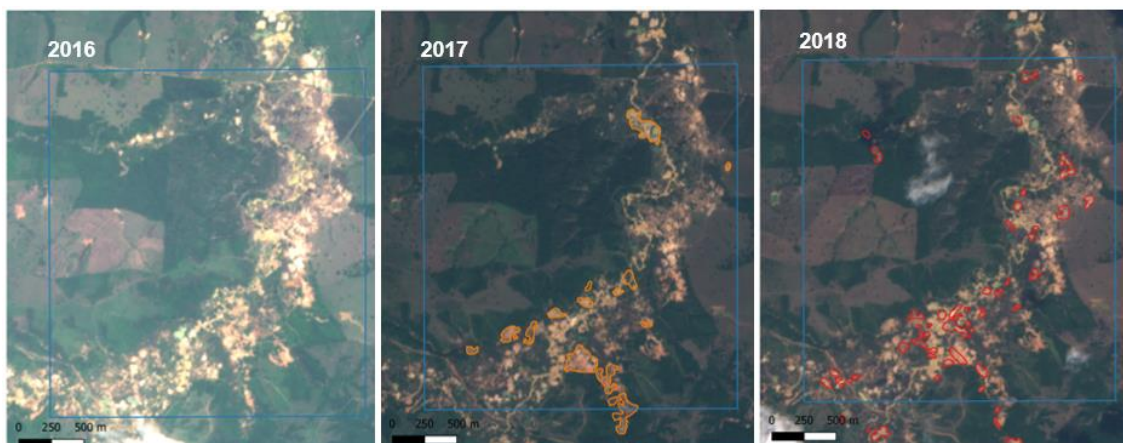


Figura 12. Evolució dels canvis de la mineria a la zona 1

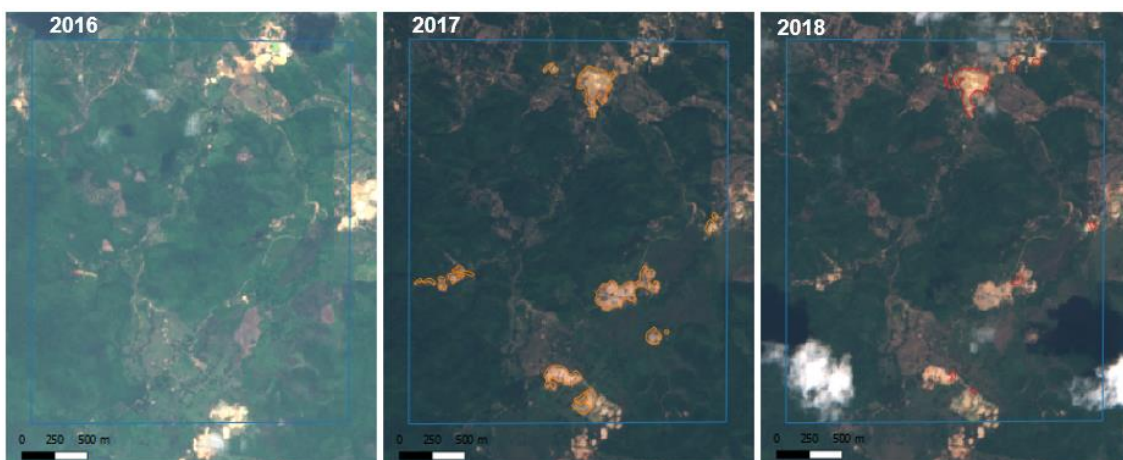


Figura 13. Evolució dels canvis de la mineria la zona 2

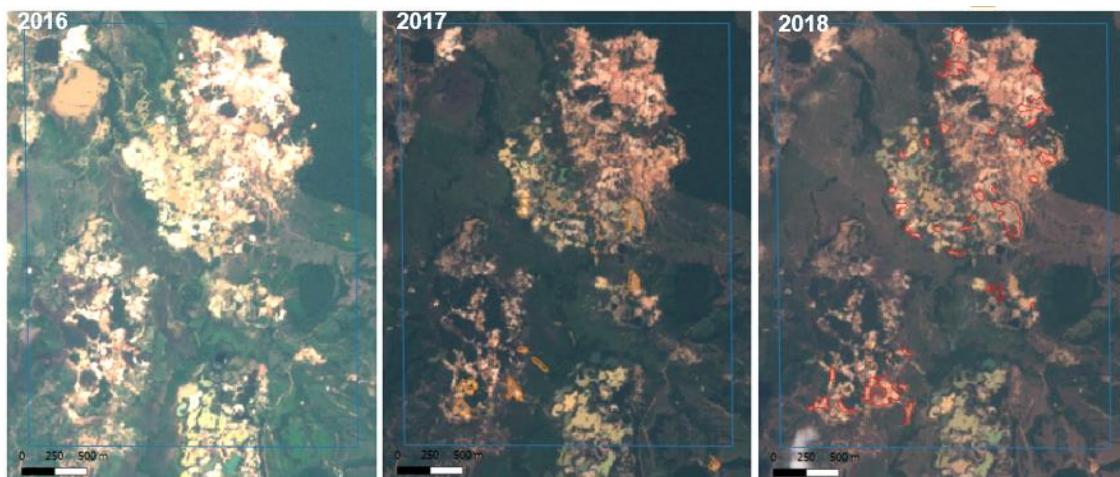


Figura 14. Evolució dels canvis de la mineria a la zona 3

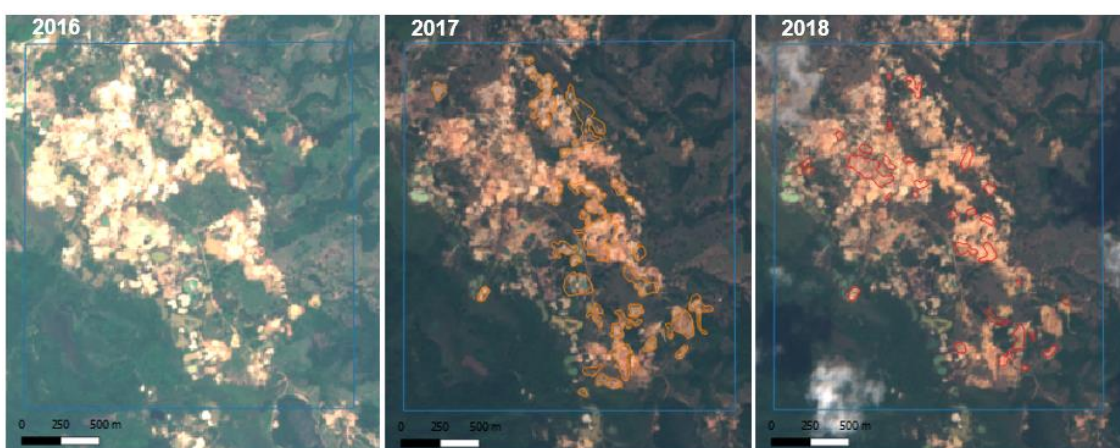


Figura 15. Evolució dels canvis de la mineria a la zona 4

Pel que fa als resultats al mapa de reflectància elaborat, es pot veure que coincideixen les zones on s'han produït canvis amb les zones on s'emet major reflectància, és a dir, que s'han produït els canvis a les zones amb sòl nu. Per altra banda, hi ha més espais on s'emet una reflectància que indica que es tracta de sòl nu i no es troba digitalitzat. Aquests casos, són zones que ja es trobaven desforestades abans de 2016 i no s'han pogut analitzar els canvis.

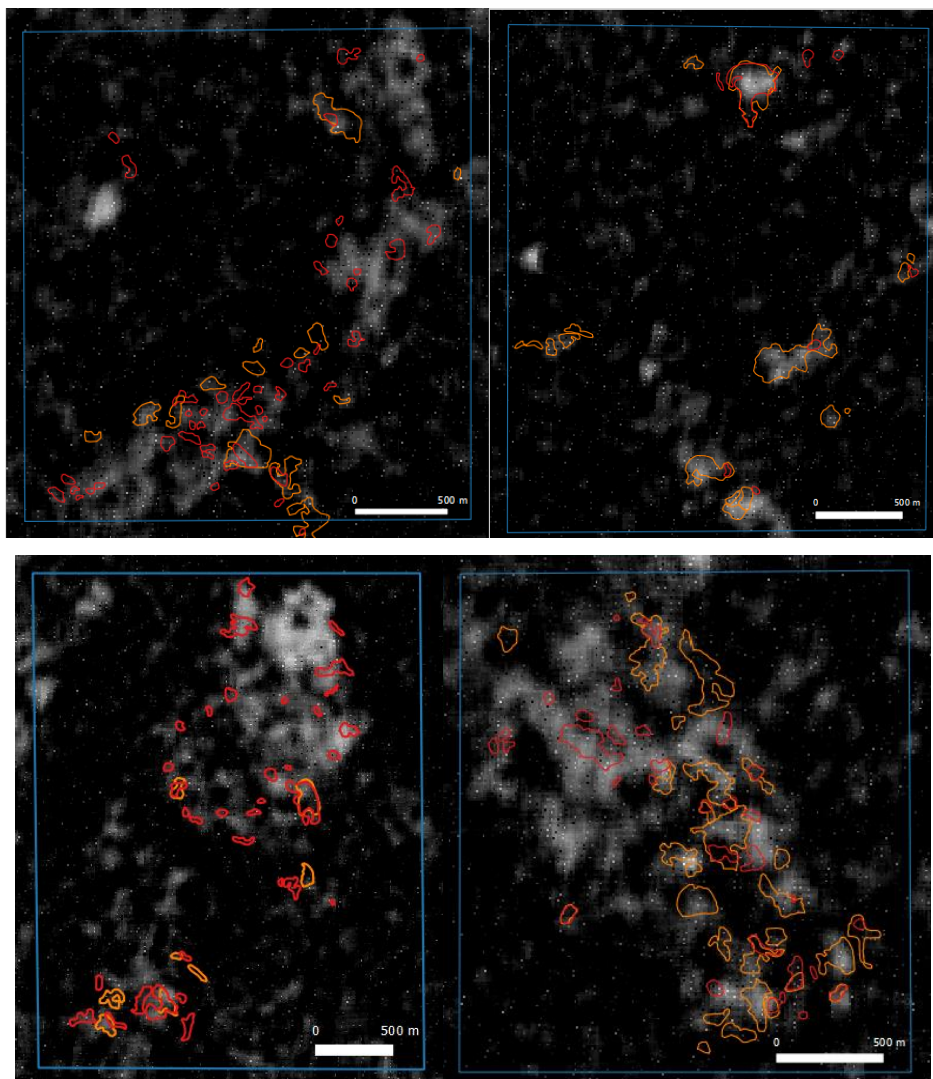


Figura 16. Mescla de la reflectància amb la màscara de canvis

### 3.2. Crescuda del riu Ebre (Abril 2018)

L'inici de l'any 2018 ha estat molt plujós a la península Ibèrica, concretament al nord, provocant un increment del cabal del riu Ebre i superant la seva mitjana habitual. Fet que se li han sumat les precipitacions intenses de principis d'abril, causant una gran crescuda del riu Ebre i inundant les superfícies de les vores amb els grans impactes econòmics.

En aquesta part del projecte, ens centrarem en els efectes que han tingut aquestes inundacions, concretament en quines cobertes del sòl han afectat, i en una comparativa de metodologies de detecció de l'aigua superficial (detecció manual, a partir d'índexs espectrals o els sistemes d'obertura sintètica) per veure quina és la més eficient.

### 3.2.1. Context

L'Ebre és el segon riu més cabalós de la península Ibèrica, amb una longitud de 930 km i una conca hidrogràfica d'uns 83 km<sup>2</sup>, segons la *Confederación Hidrográfica del Ebro* (CHE). El riu neix a la deu de Fontibre (Cantàbria) i desemboca al delta de l'Ebre (Catalunya).

Al llarg de la història hi ha hagut diversos períodes de crescuda del riu, a causa de grans períodes de precipitacions i el desgel de la neu caiguda durant l'hivern. La CHE ha estat analitzant el cabal del riu a partir de diverses estacions repartides al llarg del seu recorregut, i ha elaborat les seves estadístiques del període de retorn de les crescudes del riu.

Com es pot observar a la següent taula, és força habitual que el riu tingui episodis de crescuda com el que fa tenir durant l'abril de 2018, la qual es troba entre els dos primers períodes, amb un cabal de 2.037 m<sup>3</sup>/s.

*Taula 4. Cabals de crescuda amb període de retorn a Saragossa*

Període	Cabal (m <sup>3</sup> /s)
2 anys	1.879
5 anys	2.513
10 anys	2.933
25 anys	3.463
100 anys	4.246
500 anys	5.148

Font: SAIH Ebre

Per poder comparar la crescuda amb el cabal habitual del riu, s'ha realitzat una taula amb el cabal mitjà i el nivell d'aigua del 2017 i les mateixes dades del dia 15 d'abril de 2018, que és quan el riu va arribar als seus màxims a l'estació del SAIH de Saragossa. I es pot observar que durant aquells dies d'abril, va haver-hi una espectacular crescuda com a conseqüència del gran nombre de precipitacions als dies anteriors. Amb una diferència de cabal del 1.823% i 564,2% del nivell d'aigua.

*Taula 5. Dades del cabal a l'estació hidrològica de Saragossa*

Saragossa	Mitjana 2017	15/04/2018	Diferència
Nivell d'aigua (metres)	0,95	5,36	564,2 %
Cabal (m <sup>3</sup> /s)	111,76	2.037,44	1823 %

Font: SAIH Ebre

L'anàlisi de la crescuda, a partir de les tècniques en teledetecció, s'ha basat entre el tram del municipi de Novillas fins a Pina de Ebro (Aragó), representat en el següent mapa.

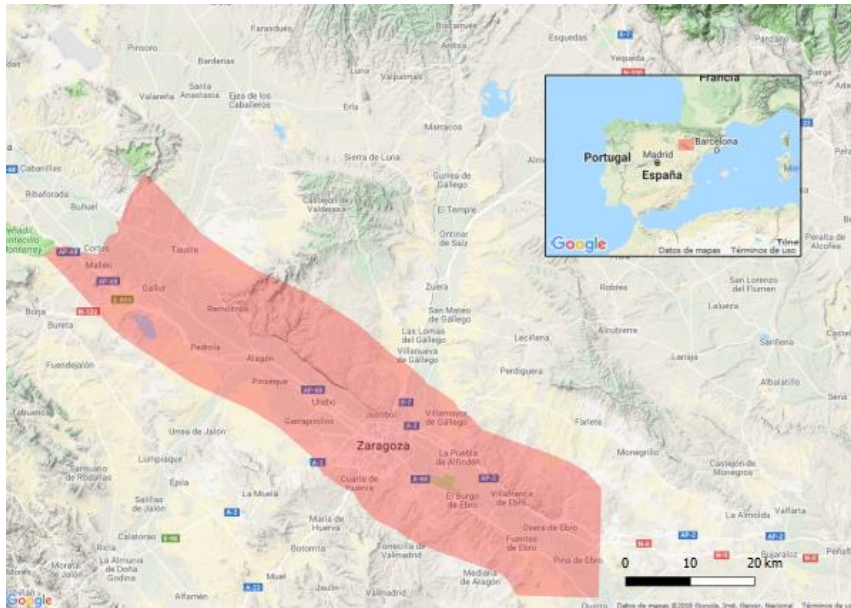


Figura 17. Localització del tram del riu analitzat

### 3.2.2. Metodologia

En aquest apartat s'explicarà d'una forma resumida la metodologia que s'ha seguit per a realitzar aquesta part del projecte. Per fer-ho, s'han descarregat imatges de Sentinel 1 i 2 i informació cartogràfica del Instituto Geografico Nacional. On s'ha processat a partir dels programes Qgis i ENVI. Al següent esquema es poden observar els passos realitzats, on les línies discontinues signifiquen que no han estat elaborades per mi, sinó per l'equip de Dares Technology.

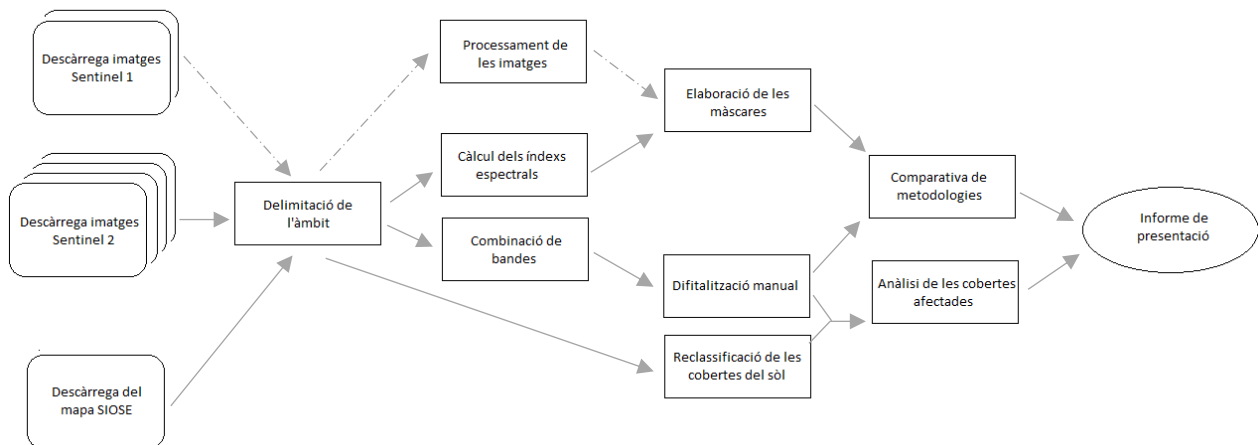


Figura 18. Esquema de la metodologia utilitzada en el cas pràctic de l'Ebre

- Obtenció d'imatges de Sentinel 2

Per poder fer l'evolució de la crescuda del riu, s'han descarregat diverses imatges d'abans, durant i després de les inundacions. En aquest cas, també ens hem trobat que hi havia núvols

durant alguns dies, fet que ens impedia fer un anàlisi més exhaustiu. Tot i això, com que Sentinel 2 té una freqüència de 5 dies, hem pogut obtenir bastanta informació.

En aquest cas, s'han descarregat les imatges dels dies 1, 14, 19 i 24 de la plataforma S2A, la qual ja té incorporada la correcció atmosfèrica que permet fer un anàlisi de gran qualitat.

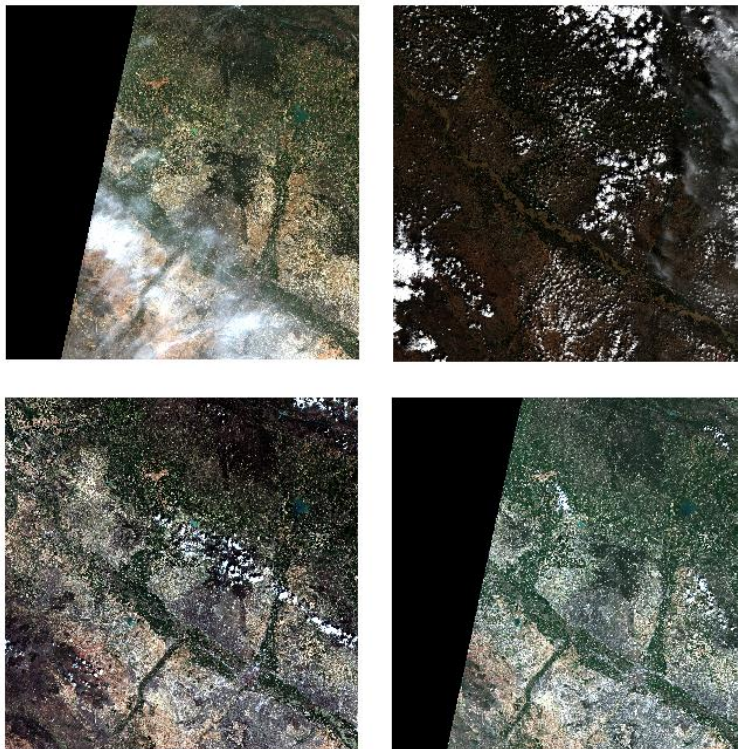


Figura 19. Imatges Sentinel 2 en RGB de l'evolució de la crecscuda

- Delimitació de l'àrea d'estudi

Un cop s'han obtingut totes les imatges necessàries i sense núvols al curs del riu s'ha delimitat el tram que es vol estudiar (de Novillas a Pina de Ebro) a partir d'un 'buffer' de 10 km. Un cop s'ha obtingut l'àrea d'estudi delimitada, s'ha realitzat un 'clip' amb totes les bandes de cop, amb el 'Semi-Automatic Classification Plugin'. D'aquesta manera es redueix el temps d'anar fent els retalls un a un.



Figura 20. Imatges RGB resultants al clip

- Digitalització de la crescuda

A partir de les imatges obtingudes, s'ha analitzat quin dels dies tenia més superfície inundada per poder analitzar el cabal màxim i les cobertes afectades per aquest. Per fer-ho, s'han realitzat tres combinacions de capes diferents; la combinació en color real (RGB) i dues en fals color amb les bandes (8, 11 i 3) i (4, 3 i 8). I s'ha arribat a la conclusió que de les dades de Sentinel 2, el dia on es veia el cabal màxim era el 14 d'abril.

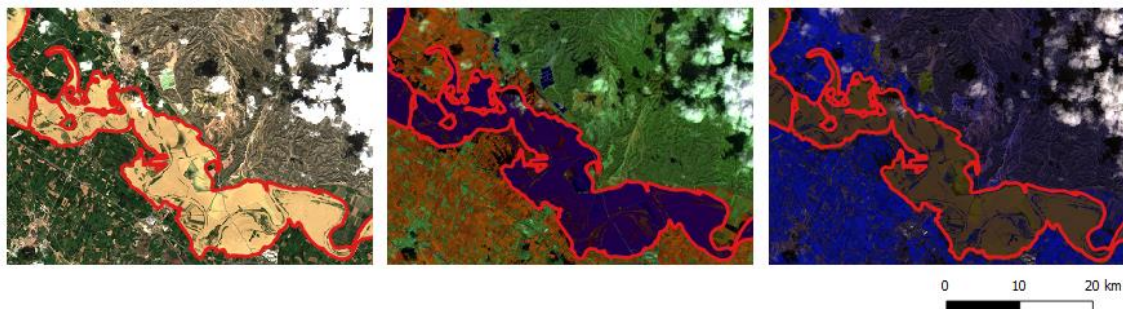


Figura 21. Digitalització de la crescuda amb diverses combinacions de capes

A partir d'aquestes tres combinacions, s'ha delimitat la zona inundada a partir de la digitalització manual amb el programa Qgis.

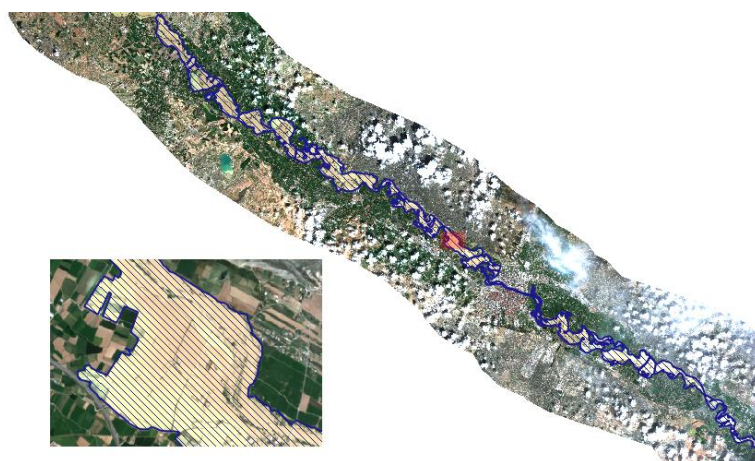


Figura 22. Digitalització de la crescuda del riu durant el 14 d'abril de 2018

- Cobertes del sòl afectades

Per a poder conèixer quins impactes va tenir aquesta crescuda, s'ha generat un 'intersect' amb el mapa de cobertes del sòl del *Instituto Geográfico Nacional*, amb la base de dades del *Sistema de Información sobre la Ocupación del Suelo de España* (SIOSE).

A partir de la base de dades del SIOSE, s'ha realitzat una reclassificació per resumir la informació, ja que la base proporciona els diferents percentatges de la ocupació del sòl i, en aquest cas, només hi hem destacat el percentatge més alt de cada polígon.

Un cop realitzada la reclassificació, s'ha elaborat un 'intersect' amb la capa de la crescuda generada al pas anterior. Amb aquest últim pas, ja es pot obtenir la informació dels diferents usos del sòl inundats, i calcular la seva àrea a partir de la creació d'un nou camp a la taula



d'atributs. Per altra banda, s'ha generat una paleta de colors per a presentar el mapa d'una forma més entenedora.

A continuació es pot veure un esquema que resumeix el procediment d'aquest apartat.



Figura 23. Tractament de la capa de cobertes del sòl del SIOSE

- Índexs espectrals d'aigua

Per a poder fer una comparativa entre la digitalització manual i altres tècniques en teledetecció per veure quina és més eficient, s'han realitzat diversos índexs espectrals que ressalten l'aigua. En aquest cas s'han calculat els següents índexs:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR} \quad ICEDEX = \left( \frac{NIR}{Red} \right) - \left( \frac{NIR}{MIR} \right)$$

El càlcul es realitza a partir de la 'calculadora raster', on s'introdueixen les bandes amb les operacions corresponents de cada índex.

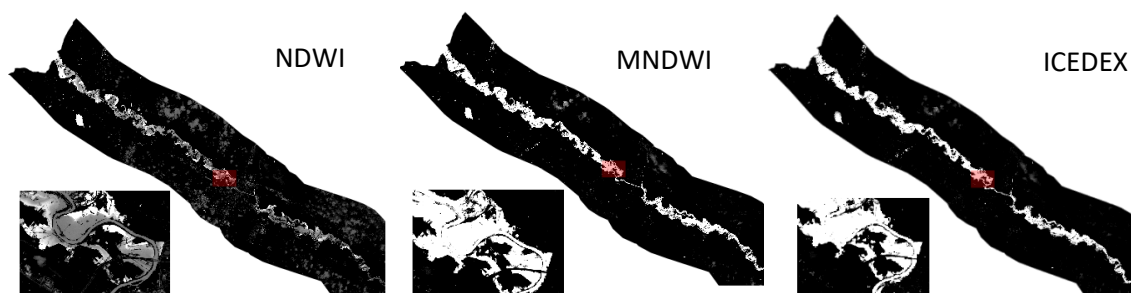


Figura 24. Resultats dels càlculs dels índexs espectrals amb els valors positius destacats

Un cop obtinguts els tres índex s'han retallat per comparar-lo amb el polígon digitalitzat i descartar els valors que no tenen la mateixa reflectivitat i els punts d'aigua que no corresponen al riu.

Per fer-ho, s'ha utilitzat el programa ENVI, on s'ha creat una nova màscara amb els valors de les aigües superficials. Com s'ha comentat al context teòric, cada índex té uns valors determinats com a aigua superficial. En tots els casos, l'índex elabora un rang de valors de -1 a 1 i en tots els casos, els valors positius són considerats com a aigua. Tot i això, en el cas del NDWI s'ha hagut de reduir el rang a -0.107, ja que el riu portava força sediments que canviaven la reflectància dels valors habituals de l'aigua superficial clara.

A partir d'aquesta màscara creada amb els valors que ens interessin, s'ha convertit a vector per a poder obrir un 'shapefile' amb 'Qgis' i realitzar la comparació. Per fer-ho, s'ha utilitzat l'eina 'Raster To Vector' i s'ha convertit el fitxer resultant (.evf) a (.shp).

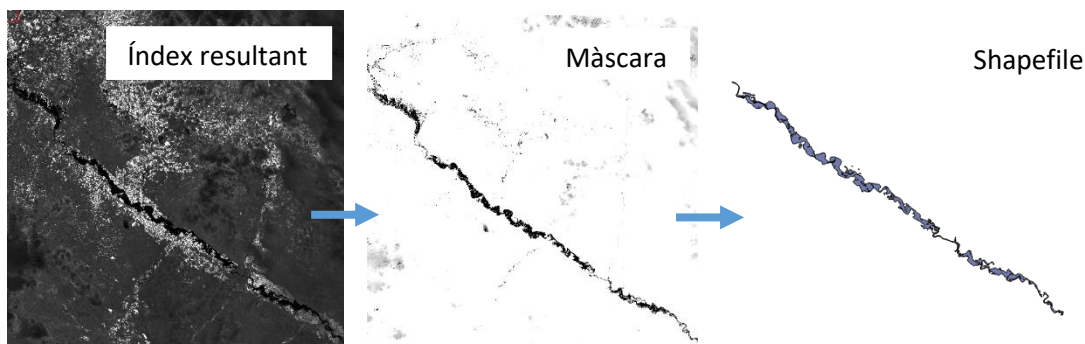


Figura 25. Processament dels índexs espectrals al programa ENVI

- Elaboració de la màscara d'aigua a partir de SAR

L'extracció de les cobertes d'aigua a partir de les imatges SAR ha consistit en un processament d'aquestes imatges a partir de diversos algorismes i una posterior estimació de la màscara d'aigua. A continuació s'explica el procediment d'una forma resumida amb algunes figures del procediment.

### A. Processament de les imatges SAR

El processament d'aquestes imatges SAR consisteix en registrar-les en una geometria de referència utilitzant la informació orbital i el model digital d'elevacions. Un cop s'obté, s'eliminen els valors més baixos a partir del filtre NSAR, estimant la màxima versemblança dels valors.

Un cop es tenen els valors que es volen treballar, s'aplica un procés de calibració absoluta i relativa per analitzar les imatges amb el *Backscatter*, i es converteixen en unitats de potència lineal a escala de decibels i poder exagerrar les diferències entre els valors d'aigua i la resta.

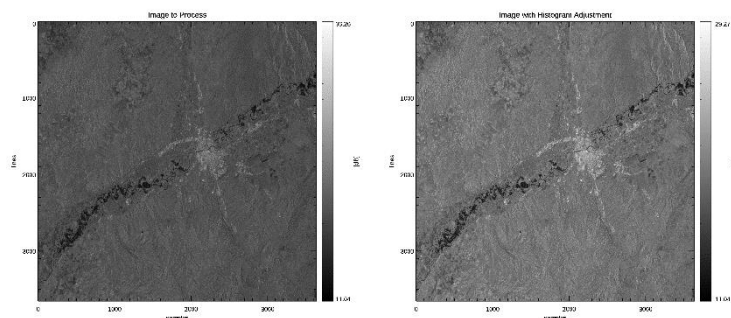
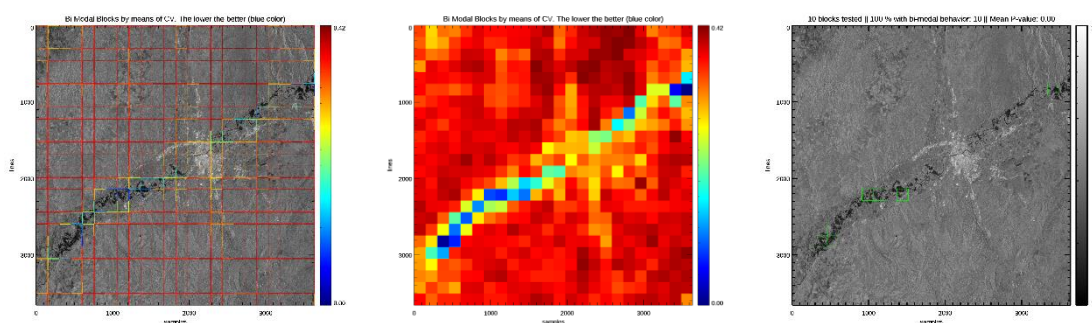


Figura 26. Processament de les imatges SAR

### B. Estimació de la màscara d'aigua

A partir de la imatge calibrada, es divideix en N blocs per tenir una mostra adequada que permeti separar les classes d'aigua i calcular el llindar adequat. La divisió dels blocs es realitza a partir del comportament bimodal; per fer-ho s'utilitzen diversos algorismes per tenir una major precisió; com són el de *Hartigan*, el *Kernel Density Estimation*, el *Kitter-Illingworth*, etc. D'aquesta manera, es genera una màscara d'aigua.

A partir dels resultats de la combinació dels algorismes, els blocs amb percentatges superiors a 50% de màscara d'aigua seran classificats com a aigua.



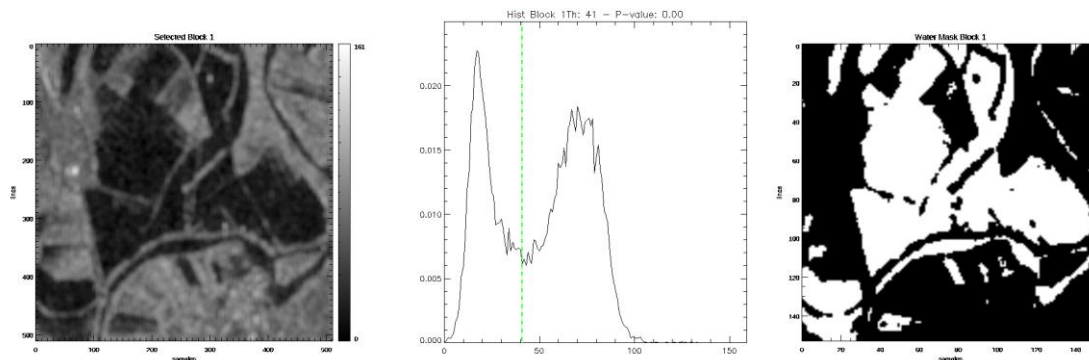


Figura 27. Elaboració de la màscara d'aigua a partir d'imatges SAR

### C. Presentació del mapa

A partir de la màscara d'aigua, es realitza el mapa d'inundació, amb els valors de referència del cabal habitual i els valors del cabal al dia de la inundació.

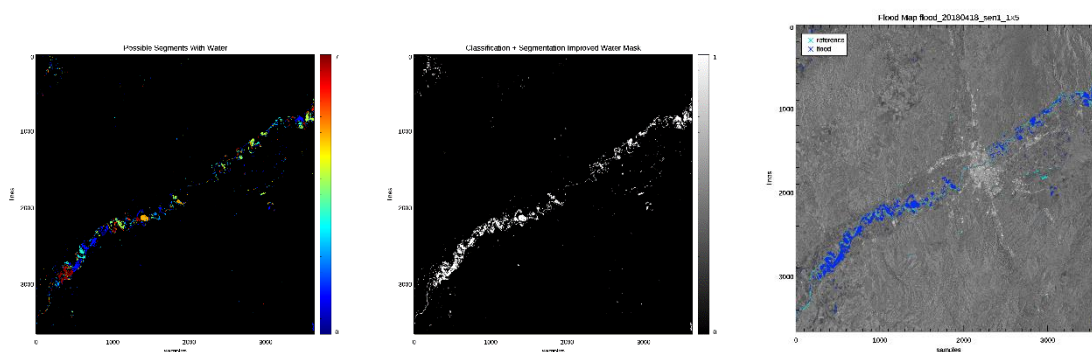


Figura 28. Presentació de la màscara d'aigua extreta del model SAR

- Elaboració de l'informe

Amb totes aquestes capes s'ha realitzat una presentació en format *Power Point* per explicar a possibles clients les aplicacions que poden realitzar aquests satèl·lits i mirar d'exportar-les en els seus camps professionals. Aquesta presentació, es pot veure a l'annex.

### 3.2.3. Resultats



De tot aquest procediment n'hem acabat obtenint un mapa de cobertes del sòl amb les hectàrees afectades de cadascuna d'elles i un conjunt de capes de detecció de l'aigua en diverses tècniques en teledetecció. Com és la digitalització manual, la combinació de capes, els índexs espectrals i les tècniques en SAR.

A continuació es representa el mapa de cobertes del sòl amb les superfícies afectades durant el dia 14 d'abril.

Taula 6. Cobertes afectades durant la crescuda del Ebre

Cobertes inundades (14/04/2018)	Superfície (ha)	Percentatge (%)
Agrícola / Ramader	43,12	0,36
<b>Arbòria Forestal</b>	<b>2.611,47</b>	<b>21,75</b>
Arròs	18,96	0,16
<b>Conreus Herbacis diferents a l'arròs</b>	<b>8.193,38</b>	<b>68,24</b>
Conreus llenyosos	127,97	1,07
Industrial	15,09	0,13
Infraestructures	43,46	0,36
Matollar	221,98	1,85
Miner extractiu	8,85	0,07
Prats	420,35	3,50
Sòl nu	96,90	0,81
Sòl no edificat	33,60	0,28
Urbanitzat	103,81	0,86
Zones pantanoses	67,86	0,57
<b>Total</b>	<b>12.006,85</b>	<b>100</b>

 Aigua continental en condicions normals	1.391,49	11,59
 Cobertes inundades	12.006,85	100

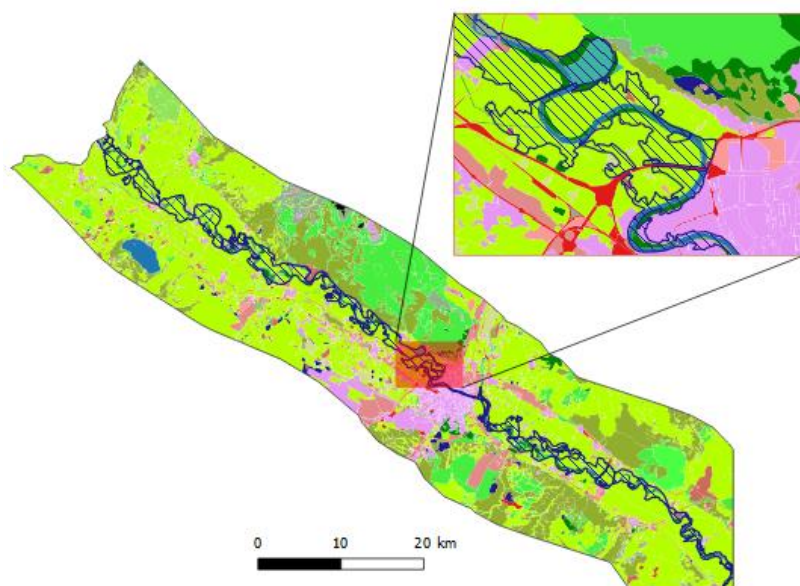


Figura 29. Cobertes del sòl afectades durant la crescuda de l'Ebre

Com es pot veure a la taula i figura anterior, durant el dia 14 d'abril de 2018, hi havia un total de 13.006,85 hectàrees inundades entre el tram de Novillas i Pina del Ebro. Un total de catorze tipologies de cobertes del sòl han estat afectades, provocant danys econòmics i materials, amb el sector primari com a principal afectat.

La coberta del sòl més afectada ha estat la dels conreus herbacis diferents al arròs, unes cobertes situades a la llera del riu per aprofitar l'aigua pel reg, amb gairebé un 70% del total de les cobertes afectades. En segon lloc, les superfícies forestals arbrades han estat un 21% de les superfícies inundades amb 2.611,47 hectàrees.

Pel que fa a les àrees urbanes, es van produir danys a 103,81 hectàrees de sòl urbanitzat, 43,46 hectàrees d'infraestructures, provocant talls en algunes carreteres i 15 hectàrees de sòl industrial.

Dins de les cobertes agrícola / ramadera, s'han produït danys a una granja de porcs de Villafranca del Ebro, on tot i els avisos anteriors a la crescuda no es van prendre les mesures corresponents i va provocar la mort de desenes de porcs, fet que va ser denunciat pel partit animalista.

A continuació es representa un seguit de captures d'un mateix tram de riu de les diferents capes elaborades per poder fer una comparativa de tots els casos i veure quina metodologia de detecció d'aigua és més eficient. La comparativa l'he classificat en dos blocs; el primer és el dia de màxima crescuda, el 14 d'abril de 2018, on s'han comparat les òptiques amb els índexs espectrals i la digitalització manual. Per altra banda, com que els resultats del SAR eren del dia 18 d'abril, he hagut de fer la comparativa amb l'índex més eficient, el NDWI del dia posterior. No ha pogut ser del mateix dia perquè les dades són de satèl·lits diferents (Sentinel 1 i 2) i no coincideixen. Tot i això, la comparativa es pot realitzar igualment ja que no va variar gaire en 24 hores.

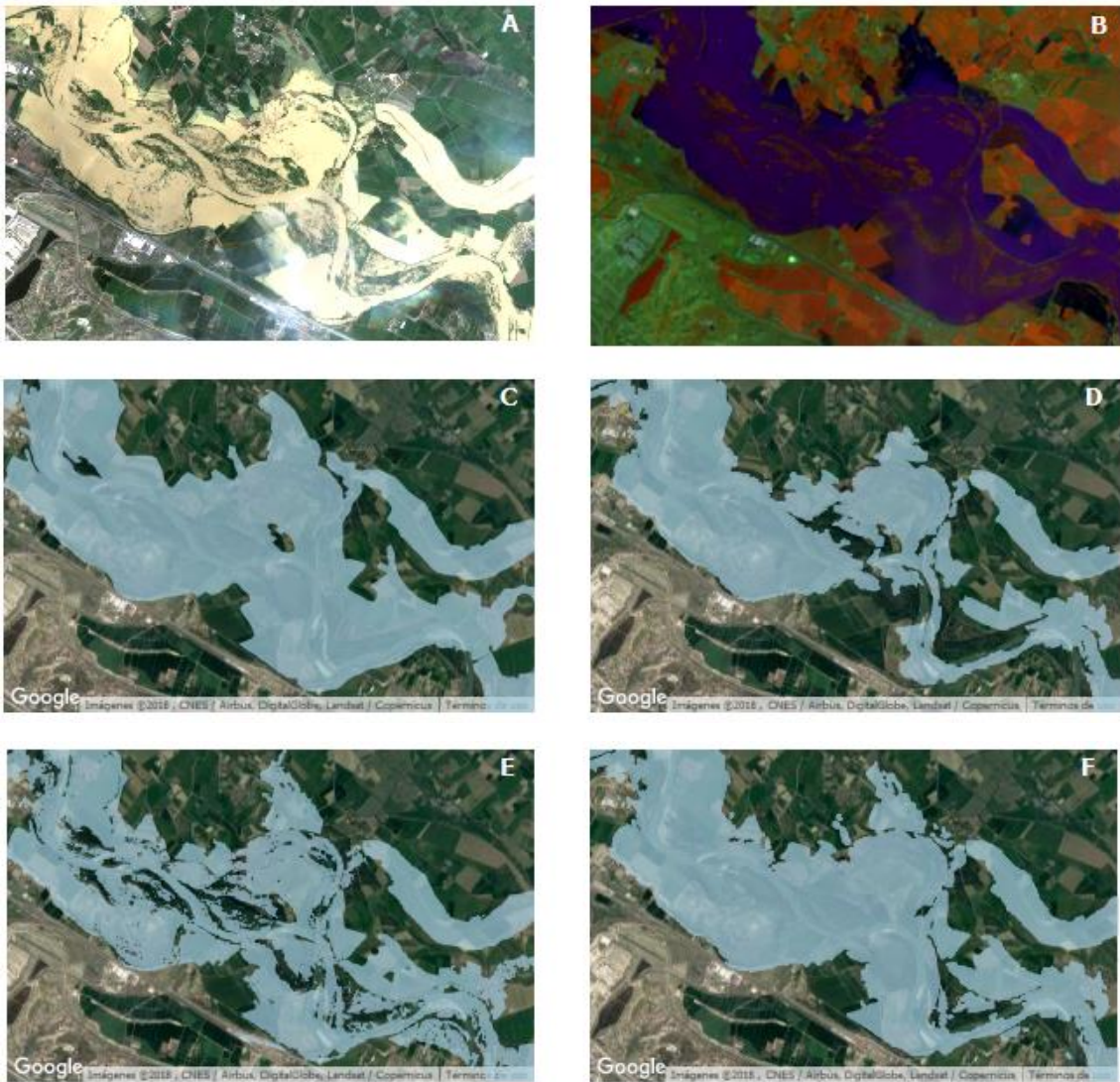


Figura 30. (A) RGB SENTINEL 2, (B) Water-land, (C) Digitalització manual, (D) ICEDEX, (E) NDWI, (F) MNDWI

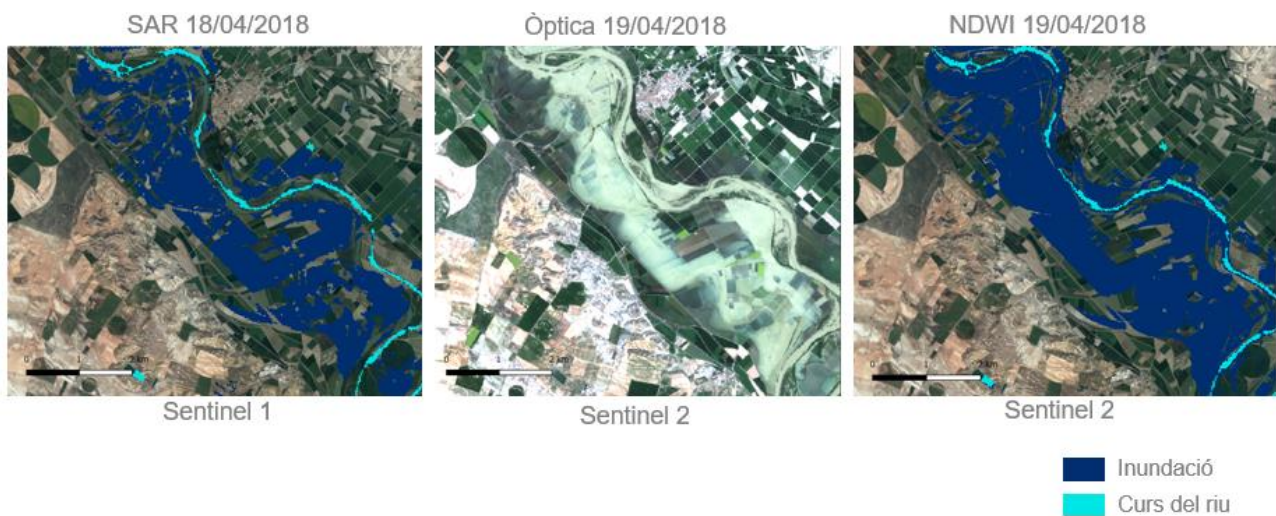


Figura 31. Comparativa dels resultats de SAR i NDWI amb la òptica

Fent una comparativa dels diversos índex elaborats, podem afirmar que han sortit un resultat força diferent. L'índex NDWI té més dificultats per detectar l'aigua quan transporta grans quantitats de sediments, i en aquest cas, al tractar-se d'una crescuda del riu, fa que hi hagués més sediments dels habituals. Tot i això, ha detectat força bé els espais coberts d'aigua i ha descartat amb molta precisió les petites illes formades pel mig de la crescuda a diferència dels altres índexs, que no ho han detectat amb tanta precisió. Per tal de detectar l'aigua amb grans quantitats de sediments s'ha hagut de canviar el rang de valors que es descarten de l'índex, passant de (0 a 1) a (-0.107 a 1).

L'índex MNDWI es veu més centrat en detectar l'aigua superficial, tot i això, aquest fet sembla més un inconvenient en aquest cas, ja que el reflex envaeix les vores incrementant l'àrea que realment està inundada. Per tant, aquest índex pot ser més útil a la hora de detectar espais d'aigua en un territori, en comptes de delimitar-la i buscar precisió.

L'índex ICEDEX, no detecta les illes que s'han format entremig de la crescuda del riu, tot i això, es molt precís retallant els marges. Per altra banda, com a inconvenient principal, no detecta com a aigua aquells fragments que tenen reflexes solars.

Per tant, dels tres índexs analitzats, el que sembla més precís és l'índex de diferència d'aigua normalitzat, ja que detecta tots els fragments d'aigua i descarta les illetes generades. Tot i que s'ha de buscar el rang de valors adequat per incorporar els fragments que contenen grans quantitats de sediments.

Per altra banda, la imatge en fals color, sembla detectar més fragments inundats dels que es poden veure en l'òptica en RGB, ja que la combinació de capes que diferencia entre aigua i terra detecta les zones més humides i que poden estar cobertes per vegetació, i això dificulta la visió de l'aigua a simple vista.

El sistema d'obertura radar presenta una gran precisió gràcies a la independència de les condicions climàtiques i d'il·luminació. Per altra banda, el fet de combinar diversos algorismes per generar una màscara d'aigua que els unifiqui a tots li dona una major credibilitat. Tot i això, no es pot fer una comparativa entre la metodologia dels sensors actius i passius, ja que les dades no coincideixen de forma temporal, i la crescuda va anar variant al llarg del temps.

Per tant, en aquest cas, no podem definir quina metodologia és la més precisa d'una forma científica a causa de les variacions temporals. Però, segons els resultats obtinguts, sembla ser que la metodologia per detectar l'aigua superficial d'una forma automatitzada que es pot acostar més als resultats òptims són els de la metodologia SAR seguits de l'índex diferenciat d'aigua normalitzat.

A l'annex es pot llegir l'informe final que s'ha elaborat per a presentar els serveis que Dares Technology pot oferir a nous clients. Com es pot veure, s'ha fet d'una forma visual on es mostren els resultats de les diferents metodologies elaborades i una comparativa final entre l'òptica, l'índex NDWI i el mètode de SAR.



## 4. Conclusions

El Programa Copernicus disposa d'un gran nombre d'aplicacions per a millorar la gestió del medi ambient i combatre problemàtiques com el canvi de les cobertes del sòl, les inundacions, les deformacions del territori, etc. En aquest treball ens hem centrat en l'estudi de l'evolució d'una mina i l'evolució d'unes inundacions, i com s'ha pogut veure, es generen uns resultats amb una elevada resolució i amb poc temps de processament de les dades. Per altra banda, si comparem Copernicus amb altres programes lliures com poden ser Landsat, tenim una resolució molt més alta que ens permet afinar els resultats, millorant la qualitat dels productes.

Aquest projecte s'ha dividit en dos casos pràctics d'aplicacions del Programa Copernicus per analitzar els canvis de les cobertes del sòl; una mina de Colòmbia i les crescudes del riu Ebre del passat mes d'abril.

El cas de la mineria, s'han pogut detectar els canvis de les cobertes del sòl dels darrers anys d'una forma força precisa. Tot i això, el fet de dependre de les condicions climàtiques d'un clima tropical ens ha dificultat la feina i ha reduït el nombre de màscares de canvis que es volien realitzar. Tot i això, s'ha pogut comparar amb un mapa de reflectància elaborat a partir de metodologies SAR i les zones amb major reflectància (sòl nu) coincideixen amb les zones on s'han experimentat canvis, és a dir, s'ha produït una desforestació.

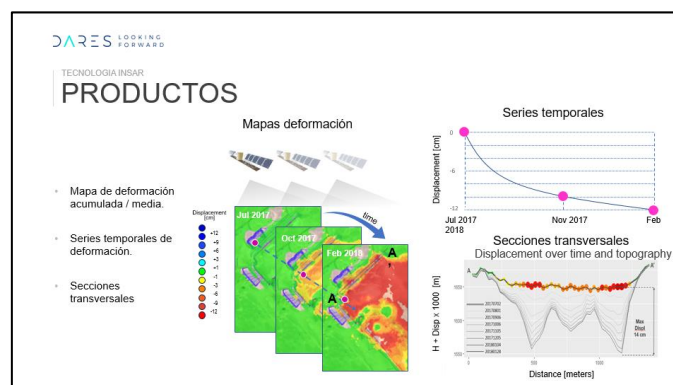
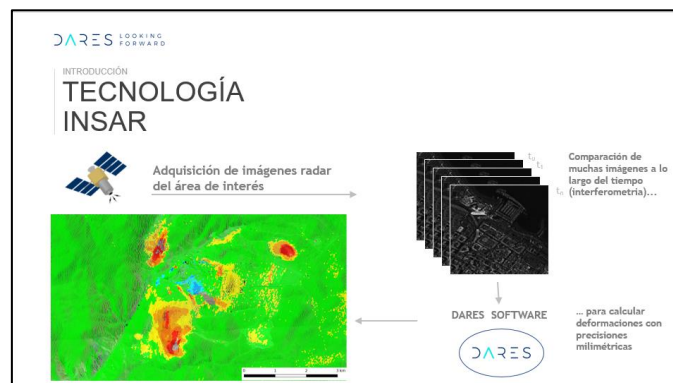
Per altra banda, el cas de la crescuda del riu Ebre, s'ha realitzat una comparativa de metodologies entre els índexs espectrals (NDWI, MNDWI, ICEDEX), digitalització manual i els SAR. I s'ha pogut veure que l'índex NDWI i el model SAR són els més precisos a la hora de delimitar l'aigua superficial. L'índex NDWI té la dificultat de que no detecta l'aigua amb grans quantitats de sediments com a aigua superficial, però es pot modificar el rang de valors descartats per tal de poder-la identificar. En canvi, destaca respecte els altres índexs per delimitar d'una forma més precisa l'aigua, interpretant les illes que hi havia al mig de la crescuda.

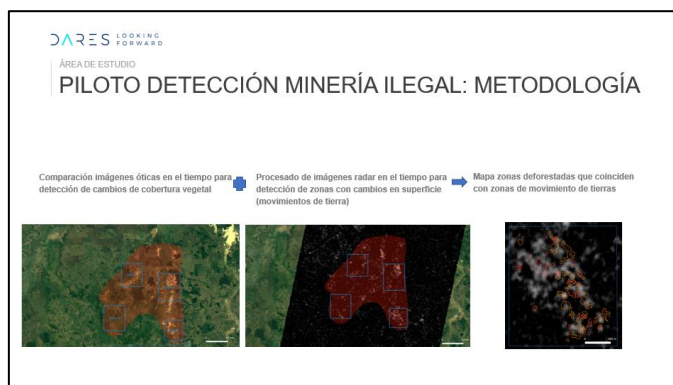
Tot i això, els sensors passius tenen la problemàtica de dependre del clima, i en el cas de les inundacions acostuma a estar lligat amb zones ennuvolades. Per tant, els sensors actius poden ser més eficients en aquests casos, ja que pel que fa a la precisió dels resultats entre l'índex NDWI i SAR han estat força semblants.

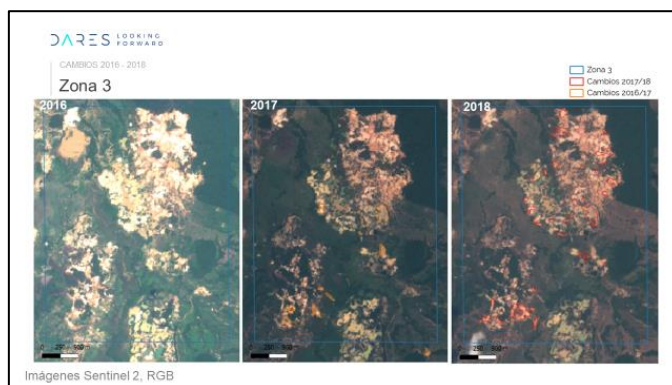
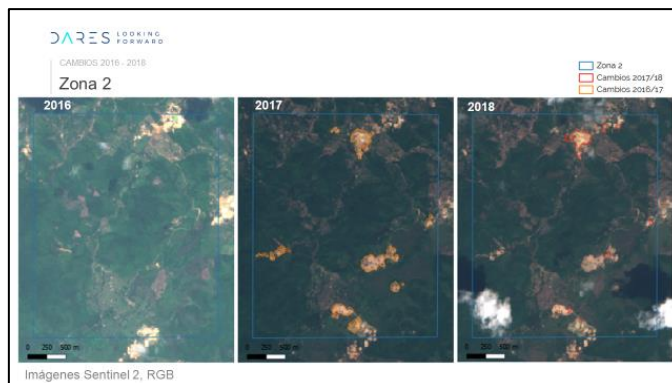
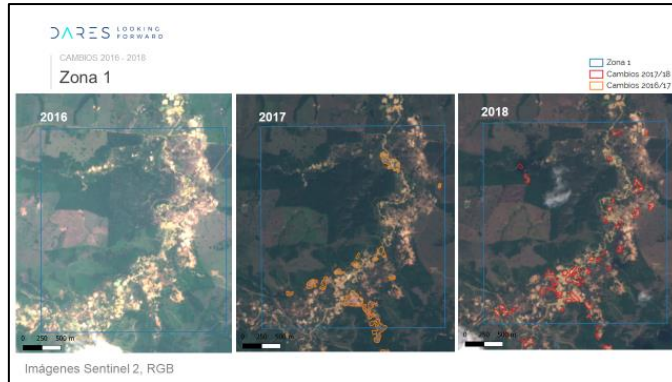
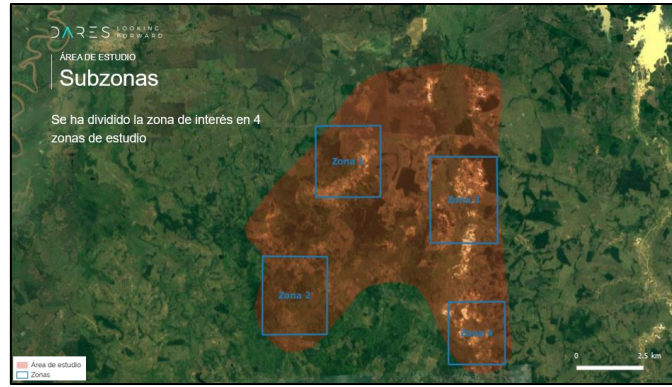
En conclusió, Copernicus està elaborant una flota de satèl·lits dels quals se'n pot treure molt de profit en accions d'ordenació del territori, protecció del medi ambient, control de la qualitat de l'atmosfera, etc. On la combinació de sensors actius i passius li permet ampliar la precisió dels productes i generar informació de més qualitat.

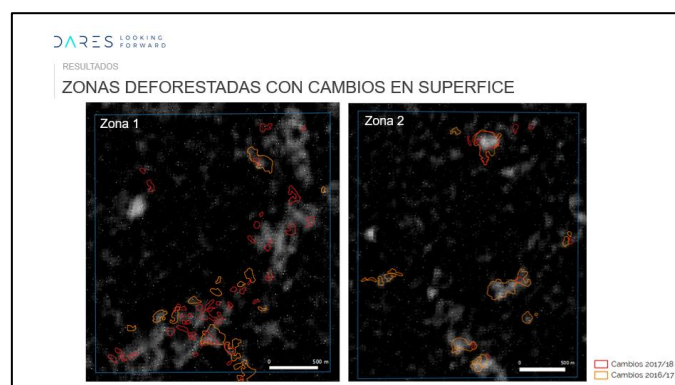
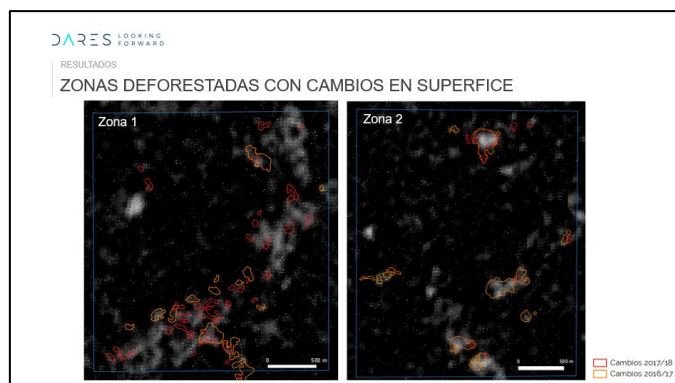
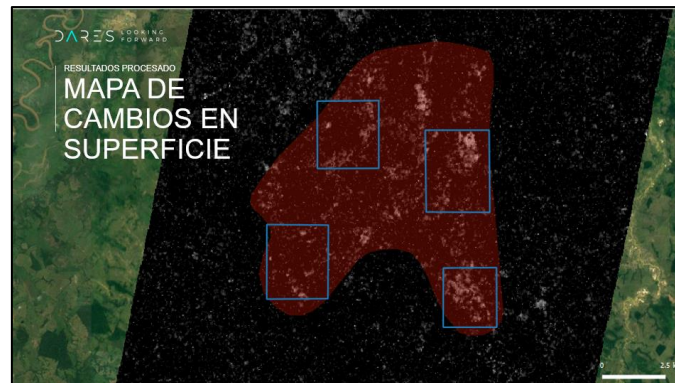
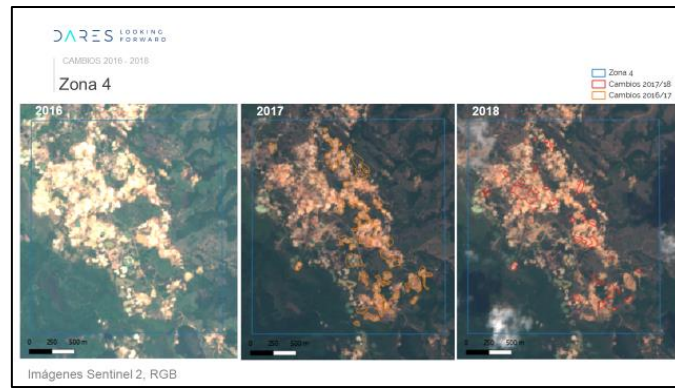
## 5. Annex

### 5.1. Informe de la mineria de Colòmbia









**DARES** LOOKING FORWARD

CONCLUSIONES

### TECNOLOGÍA SATELITAL PARA DETECTAR ZONAS DE MINERÍA ILEGAL

- Optimizar las labores de identificación de zonas de minería ilegal
- Mapeo rápido y preciso de las distintas zonas
- Posibilidad de monitorear grandes zonas geográficas (300 x 300 km)
- Disponibilidad de datos históricos desde 2007 hasta la actualidad
- Frecuencia de datos nuevos cada 12 días en Colombia
- Experiencia certificada de DARES en el monitoreo de cambios en superficie y deforestación en Sur América

## 5.2. Informe de les crescudes de l'Ebre

**DARES** LOOKING FORWARD

### Monitoreo de deformaciones de terreno con satélites de radar

Detección de las zonas inundadas de la crecida del río Ebro

Abril 2018

www.dares.tech

esa

**DARES** LOOKING FORWARD

ÁREA DE ESTUDIO

### Localización

Aragón, (Tramo de Novillas a Pina de Ebro)

Superficie: 186.172,14 ha

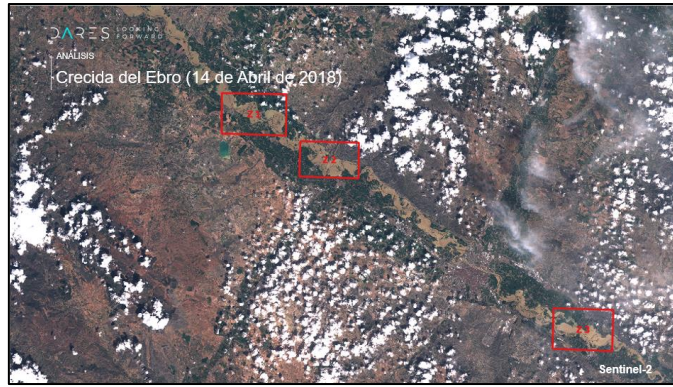
**DARES** LOOKING FORWARD

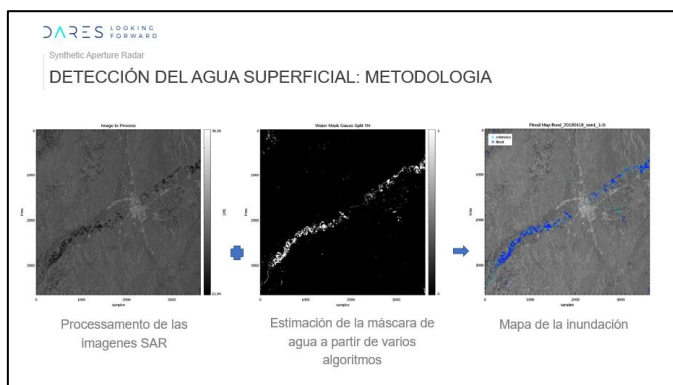
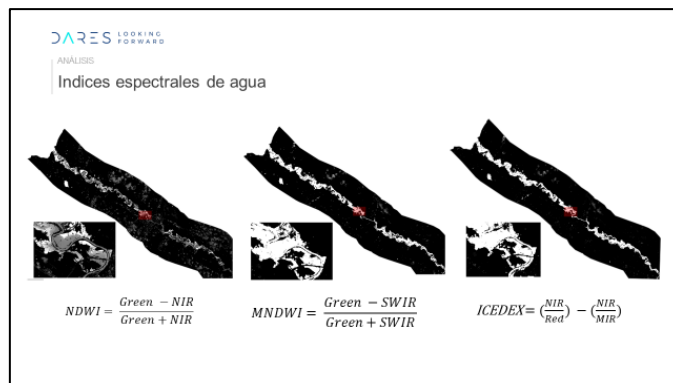
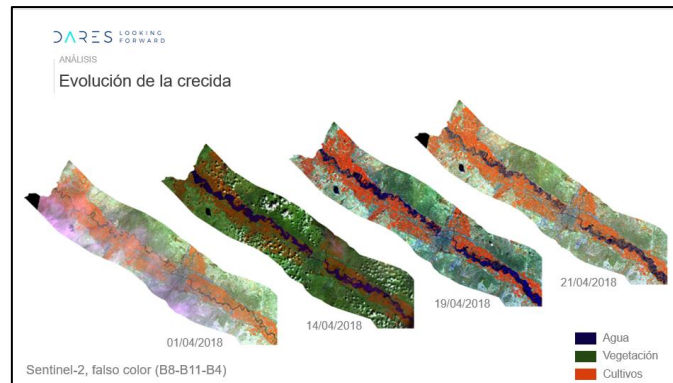
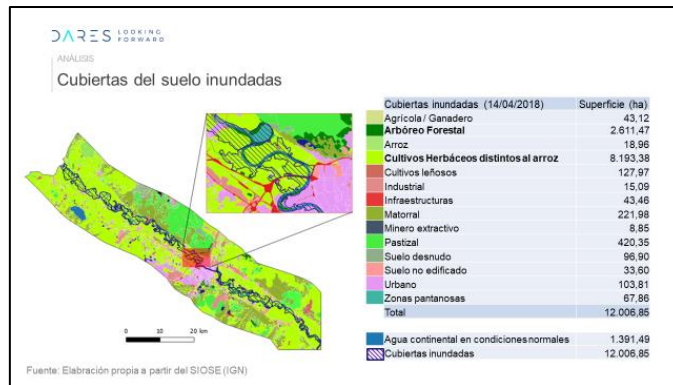
ÁREA DE ESTUDIO

### Caudal del Ebro

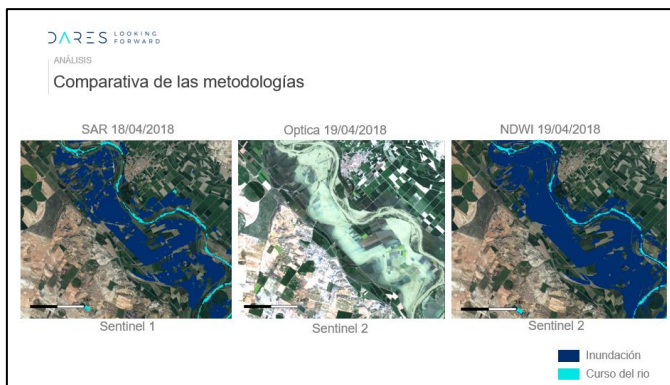
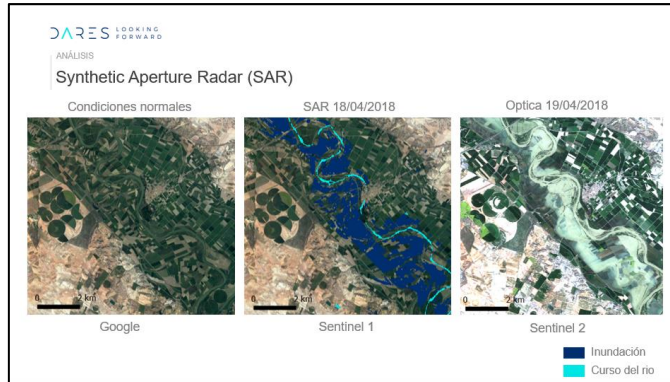
Zaragoza	Media 2017	15/04/2018	Diferencia
Nivel de Agua (metros)	0,95	5,36	564,2 %
Caudal (m³/s)	111,76	2.037,44	1823 %

Fuente: SAJH Ebro, estación A011









## 6. Índexs d'il·lustracions

### 6.1. Índex de figures

Figura 1. Sentinel 1.....	7
Figura 2. Sentinel 2.....	7
Figura 3. Esquema del funcionament dels satèl·lits SAR.....	9
Figura 4. Localització de la mineria il·legal de Colòmbia.....	12
Figura 5. Esquema de la metodologia utilitzada en el cas de Colòmbia .....	13
Figura 6. Imatges de l'àmbit d'estudi del (2016 A), 2017 (B) i 2018 (C).....	13
Figura 7. Imatge de Landsat 8 del 17 de juny de 2014.....	14
Figura 8. Zones de l'àmbit d'estudi de la mineria il·legal.....	14
Figura 9. Imatges RGB amb les màscares de canvis.....	15
Figura 10. Imatges en fals color, bandes 11, 4 i 8, amb les màscares de canvis.....	16
Figura 11. Mapa de reflectància de l'àmbit d'estudi .....	16
Figura 12. Evolució dels canvis de la mineria a la zona 1.....	17
Figura 13. Evolució dels canvis de la mineria a la zona 2.....	17
Figura 14. Evolució dels canvis de la mineria a la zona 3.....	18
Figura 15. Evolució dels canvis de la mineria a la zona 4.....	18
Figura 16. Mescla de la reflectància amb la màscara de canvis.....	19
Figura 17. Localització del tram del riu analitzat.....	21
Figura 18. Esquema de la metodologia utilitzada en el cas pràctic de l'Ebre .....	21
Figura 19. Imatges Sentinel 2 en RGB de l'evolució de la crescuda.....	22
Figura 20. Imatges RGB resultants al clip.....	22
Figura 21. Digitalització de la crescuda amb diverses combinacions de capes .....	23
Figura 22. Digitalització de la crescuda del riu durant el 14 d'abril de 2018 .....	23
Figura 23. Tractament de la capa de cobertes del sòl del SIOSE .....	24
Figura 24. Resultats dels càlculs dels índexs espectrals amb els valors positius destacats .....	25
Figura 25. Processament dels índexs espectrals al programa ENVI.....	25
Figura 26. Processament de les imatges SAR.....	26
Figura 27. Elaboració de la màscara d'aigua a partir d'imatges SAR .....	27
Figura 28. Presentació de la màscara d'aigua estreta del model SAR .....	27
Figura 29. Cobertes del sòl afectades durant la crescuda de l'Ebre .....	28
Figura 30. (A) RGB SENTINEL 2, (B) Water-land, (C) Digitalització manual, (D) ICEDEX, (E) NDWI, (F) MNDWI.....	30

Figura 31. Comparativa dels resultats de SAR i NDWI amb la òptica ..... 30

## 6.2. Índex de taules

Taula 1. Característiques dels satèl·lits Sentinel del Programa Copernicus.....	6
Taula 2. Bandes espectrals de Sentinel-2.....	7
Taula 3. Característiques dels satèl·lits radar.....	10
Taula 4. Cabals de crescuda amb període de retorn a Saragossa.....	20
Taula 5. Dades del cabal a l'estació hidrològica de Saragossa.....	20
Taula 6. Cobertes afectades durant la crescuda del Ebre.....	28

## 7. Fonts d'informació

- ARIZA, A; GARCIA, S.; ROJAS, S. i RAMÍREZ, M. (2013). Desarrollo de un mdelo de corrección de imágenes de Satélite para inundaciones: (CAIN – Corrección Ambiental e Índices de Inundación).
- BUSTAMANTE, J.-, DÍAZ-DELGADO, R.; ARAGONÉS, D. *Determinación de las características de masas de aguas someras en las marismas de Doñana mediante teledetección*. Revista de Teledetección. 2005. 24: 107-111
- CROCKETT, M. (2013) An introduction to Synthetic Aperture Radar: a High-Resolution Alternative to Optical Imaging.
- European Space Agency. [en línia] <<https://www.esa.int/>> (Consulta: 25/06/2017).
- IGLESIAS, R.; entre d'altres. (2017) Towards unsupervised flood mapping generation using automatic thresholding and classification approaches. DARES TECHNOLOGY, Edif. RDIT, Parc UPC, Castellfedels (Barcelona).
- Instituto Geográfico Nacional. [en línia] <<http://www.ign.es/>> (Consulta: 25/06/2017).
- KAPLAN, G. i AVDAN, U. (2016). New mapping technique for wàter extractin using NDWI and land surface temperature – wàter extraction surface temperature index. In Manuscript submitted for publication.
- KAPLAN, G. i AVDAN, U. (2017). *Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery*. Anadolu University. European Journal of Remote Sensing, Vol 50, NO. 1, 137-143.
- NASA. [en línia] <<https://earthdata.nasa.gov/user-resources/remote-sensors>> (Consulta: 25/05/2017).
- *National Aeronautics and Space Administration*. [en línia] <<https://earthdata.nasa.gov/>> (Consulta: 25/06/2017).

- NOAA. [en línia] <<https://oceanservice.noaa.gov/facts/remotesensing.html>> (Consulta: 25/05/2017).
- RABELLA i VIVES, Josep M.; PANAREDA i CLOPÉS, Josep M.; RAMAZZINI i GOBBO, Graziana. *Diccionari terminològic de cartografia*. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya: Enciclopèdia Catalana, 2011. 417 p. (Diccionaris Terminològics) ISBN 978-84-393-8690-2; 978-84-412-1995-3.
- Sistema Automático de Información Hidrológica. [en línia] <<http://www.saihebro.com/saihebro/index.php>> (Consulta: 28/06/2017).
- *United States Geological Survey*. [en línia] <<https://www.usgs.gov/>> (Consulta: 14/05/2018).